

Desarrollo de una Interfaz de sustitución sensorial para el estudio de la percepción del flujo vibrotáctil (retina táctil)



Leandro Cancar
Automática y Robótica
UPM

Trabajo fin de máster
Dirigido por Antonio Barrientos

26/03/2012

1.Profesor

2.Profesor:

3.Profesor:

Firma del jefe del comité:

Resumen

En el presente trabajo fin de máster se ha concebido, diseñado e utilizado una interfaz háptica, adecuada para ser utilizada como dispositivo de sustitución sensorial, la cual hemos llamado retina táctil. Por cuanto trata de proporcionar información propia del sentido de la vista a través del sentido del tacto.

Durante este trabajo, que fue desarrollado en el grupo de robótica y cibernética CAR UPM-CSIC, se ha trabajado en estrecha colaboración con el departamento de la facultad de psicología de la universidad autónoma de Madrid, los cuales han definido las bases de la información de alto orden, como podrían ser, gradientes de intensidades de vibración, mediante las cuales el individuo llega a tener una mejor comprensión del ambiente.

El proyecto maneja teorías psicológicas recientes, como las teorías ecológicas y dinámicas que entienden que la percepción se basa en variables informacionales de alto orden. Ejemplos de tales variables son el flujo óptico, gradientes de movimiento, gradientes de intensidades, cambios en gradientes, etc. Sorprendentemente, nuestra percepción visual es mucho más sensible a variables de alto orden que a variables de bajo orden, lo cual descarta que variables de alto orden se infieran o calculen en base a variables de bajo orden. La hipótesis que maneja la teoría ecológica es que las variables de alto orden se detectan como unidades básicas, sin descomponerlas en variables de bajo orden. Imaginemos el caso de un objeto acercándose, intuitivamente pensaríamos que calculamos la distancia y la velocidad del objeto para determinar el momento en el cual este nos impactaría, ¿pero es este realmente el modo en el que actúa nuestro cerebro?, ¿no seremos capaces en determinar directamente el tiempo de contacto como una variable de alto orden presente en el entorno?, por ejemplo, determinar directamente la relación

entre el tamaño del objeto y la tasa de crecimiento. También cabe preguntarse si todas estas suposiciones son válidas para estimulaciones a través de los receptores táctiles en la piel.

El dispositivo desarrollado está conformado por 13 módulos cada uno de los cuales maneja 6 tactores o vibradores, para hacer un total de 78 vibradores (ampliables al agregar módulos adicionales), cada uno de los tactores tiene 8mm de diámetro y proporciona información del flujo óptico asociado al entorno que rodea al usuario a través de información táctil, él mismo puede ser utilizado inalámbricamente a pesar de que el procesamiento de los datos se este realizando en una computadora de mesa, lo cual es muy útil al trabajar con ambientes virtuales.

También se presenta la integración de la interfaz con el sistema operativo de robots ROS para usarlo en conjunto con las librerías que han sido desarrolladas para el control de la cámara Microsoft Kinect con la cual se puede obtener una matriz de distancias de puntos en el espacio, permitiendo de esta manera utilizar la interfaz en ambientes reales.

Finalmente se realizaron experimentos para comprobar hipótesis sobre la variable de percepción del tiempo de contacto además de verificar el correcto funcionamiento del dispositivo de sustitución sensorial tanto en ambientes reales como en ambientes simulados así como comprobar hipótesis sobre la validez del uso del flujo vibrotáctil para la determinación del tiempo de contacto.

Agradecimientos

Me gustaría empezar agradeciendo a mis padres y a mis hermanos, sin su apoyo no hubiese sido posible alcanzar esta meta, no puedo más que estar muy agradecidos con ustedes.

A mi tutor Antonio Barrientos y a David Jacobs, quienes me han servido de guía y me han ayudado en el desarrollo y mejor entendimiento de los problemas que se me presentaron durante el desarrollo del trabajo fin de máster de forma tal de llegar a las mejores soluciones posibles.

A mis compañeros de grupo, especialmente a Juan David Hernandez, Miguel Ángel Frutos y Nerea Béjar Muñoz, así como también a Alex Díaz y David Travieso en el grupo de percepción y acción de la universidad autónoma de madrid, que siempre han prestado su colaboración y ayuda.

A todas las personas que de una u otra forma han prestado su colaboración para en el desarrollo del trabajo, muchas gracias.

Índice general

Índice de figuras	VII
Índice de Cuadros	XI
1. Introducción	1
1.1. Marco del proyecto	1
1.2. Motivación	2
1.3. Estructura del trabajo	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo principal	4
1.4.2. Objetivos secundarios	4
2. Fundamentos	5
2.1. Receptores táctiles	5
2.2. Flujo óptico	8
2.3. Flujo vibrotáctil	9
2.4. Sustitución sensorial	11
2.5. Estado del arte	12
2.6. Fundamentos psicológicos	19
2.6.1. Percepción	19
2.6.2. Teoría ecológica en la psicología	19
3. Arquitectura y Construcción de la interfaz vibrotáctil	21
3.1. Arquitectura de la interfaz vibrotáctil	22
3.1.1. Generador de comandos de vibración	22
3.1.1.1. Ambientes virtuales	23

ÍNDICE GENERAL

3.1.1.2.	Utilización del kinect y python	24
3.1.2.	Transmisión inalámbrica de los datos	25
3.1.2.1.	Protocolo 802.15.4	25
3.1.3.	SSH y activación de nodo de ROS remotamente	26
3.1.4.	Estructura I2C	27
3.2.	Construcción	28
3.2.1.	Actuadores de vibración	28
3.2.1.1.	Caracterización cuantitativa	28
3.2.1.2.	Caracterización cualitativa	29
3.2.2.	Microcontroladores	31
3.2.2.1.	Microcontrolador maestro	31
3.2.2.2.	Microcontrolador esclavo	32
3.2.3.	Manejo de potencia de las salidas de los microcontroladores	33
3.2.4.	Indicador de nivel de voltaje	34
3.2.5.	Baterías	35
3.2.6.	Protecciones	36
3.2.7.	Faja con motores	36
3.2.8.	Módulo de transmisión inalámbrica	36
3.2.9.	Apariencia final	36
3.2.10.	Limitaciones	38
3.2.10.1.	Autonomía	39
3.2.10.2.	Retardos	39
3.2.10.3.	Tamaño	40
4.	Percepción del entorno mediante una interface táctil y cámara Microsoft Kinect	41
4.1.	Interpretación de las señales táctiles	41
4.2.	Microsoft Kinect	42
4.3.	Integración con ROS	43
4.3.1.	Funcionamiento de ROS	43
4.3.1.1.	Maestro	44
4.3.1.2.	Nodo	44
4.3.1.3.	Tópico	44

4.3.1.4. Servicio	45
4.3.1.5. Mensaje	45
4.3.2. Openni kinect	45
4.3.3. Python	45
4.4. Nodo de ROS para cálculo de vibración en función de la distancia . . .	46
5. Utilización de la interfaz de sustitución sensorial para el estudio de tiempo de contacto y otros entornos usando Matlab	49
5.1. Tiempo de contacto	49
5.2. Desarrollo del experimento con MATLAB	50
5.3. Desarrollo del experimento para el cálculo del tiempo de contacto en el mundo real	52
5.4. Simulación de escalones y obstaculos verticales	54
5.5. Integración con MATLAB	54
5.5.1. Psychtoolbox	54
5.5.2. Funciones de envío serial	55
5.5.3. QUALISYS	55
6. Pruebas y resultados	57
6.1. Experimentos realizados	57
6.1.1. Simulación objeto acercandose	57
6.1.1.1. Entrenamiento	58
6.1.1.2. Ensayos	58
6.1.1.3. Resultados	58
6.1.2. Estimación del tiempo de contacto con la kinect	61
6.1.2.1. Entrenamiento	62
6.1.2.2. Descripción del ensayo	62
6.1.2.3. Resultados	62
6.1.3. Recorrido de un pasillo con la kinect	64
6.1.3.1. Entrenamiento	66
6.1.3.2. Resultados	66

ÍNDICE GENERAL

7. Conclusiones, logros y trabajos futuros	67
7.1. Conclusiones	67
7.2. Logros	70
7.3. Trabajos futuros	71
8. Anexos	73
8.1. Dispositivo maestro la red I2C	74
8.1.1. Microcontrolador	74
8.1.2. Listado de partes dispositivo maestro	74
8.1.3. Esquemático y PCB dispositivo maestro	75
8.2. Dispositivo esclavo la red I2C	76
8.2.1. Microcontrolador dispositivo esclavo	76
8.2.2. Listado de partes dispositivos esclavos red I2C	76
8.2.3. Esquemático y PCB tarjeta dispositivo esclavo red I2C	77
8.3. Indicador de voltaje bajo y Protección	78
8.3.1. Listado de partes indicador de voltaje	78
8.3.2. Esquemático y PCB indicador de voltaje	79
8.3.3. Listado de partes protección	80
8.3.4. Esquemático y PCB protección	81
8.4. Actuador	82
8.5. Amplificador operacional etapa de potencia	86
Referencias	87

Índice de figuras

2.1. Tipos de receptores	6
2.2. Corpúsculo de Meissner	7
2.3. Corpúsculo de Pacini	8
2.4. Flujo óptico	9
2.5. Efecto saltation	10
2.6. Flujo Vibrotáctil detección de escalones	10
2.7. sustitución táctil	13
2.8. Interfaz háptica	14
2.9. Sustitución visual-auditiva	15
2.10. Sustitución visual-vibrotáctil	15
2.11. Interfaz vibrotáctil-auditiva	16
2.12. Interfaz 'wearable'	17
2.13. Interfaz-vivrotáctil	18
2.14. sustitucion sensorial tacto visión	18
2.15. Estimuladores para sustitución sensorial	19
3.1. Interfaz háptica-multiuso	21
3.2. Arquitectura general	23
3.3. MATLAB-Interfaz	24
3.4. Kinect - interfaz de sustitución sensorial	25
3.5. Esquema 802.15.4	26
3.6. Conexión I2C	27
3.7. Modulación en ancho de pulso	29
3.8. Caracterización cuantitativa actuadores	30
3.9. Tarjeta Maestro	32

ÍNDICE DE FIGURAS

3.10. Tarjeta Esclavo	33
3.11. Tarjeta nivel de voltaje	34
3.12. Protección dispositivo	36
3.13. Faja con actuadores	37
3.14. Apariencia interfaz de sustitución sensorial	38
4.1. Ciclo útil vs distancia	42
4.2. kinect	42
4.3. Diagrama básico de ROS	44
4.4. Cálculo de vibración de los actuadores	47
4.5. División para promedio de distancias	48
5.1. Esfera acercandose a un observador	50
5.2. Simulación Objeto acercandos	50
5.3. Activación de actuadores	51
5.4. Flujo vibrotáctil	52
5.5. Tiempo de contacto-kinect	53
5.6. Tiempo de contacto-kinect 1	53
5.7. Envío serial MATLAB	55
5.8. Sistema Qualisys	56
6.1. Tiempo de contacto estimado	60
6.2. Tiempo de contacto estimado vibrotáctil	61
6.3. Ensayo estimación del tiempo de contacto	63
6.4. interfaz en ambientes reales	65
8.1. Microcontrolador Maestro	74
8.2. Circuito maestro red I2C	75
8.3. Microcontrolador esclavo	76
8.4. Circuito esclavo red I2C	77
8.5. LM339 datasheet	78
8.6. Circuito indicador de voltaje	79
8.7. Protección-indicador de voltaje bajo	80
8.8. Circuito de Protección	81
8.9. Actuador vibrotáctil	82

ÍNDICE DE FIGURAS

8.10. Especificaciones actuador	83
8.11. dimensiones actuador	84
8.12. Características mecanicas	85
8.13. Amplificador AD8646ARZ	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Índice de Cuadros

2.1. Receptores en la piel	6
3.1. Receptores en la piel	23
3.2. Características actuadores de vibración	28
3.3. Características actuadores de vibración	31
3.4. Características microntrolador maestro	32
3.5. Batería NI-MH	35
3.6. Configuración módulos de transmisión inalámbrica	37
3.7. Características interfaz vibrotáctil	39
4.1. Características Microsoft Kinect	43
4.2. Datos del mensaje de openni-kinect	46
6.1. Orden de realización del ensayo	59
6.2. Correlación del ttc con el tiempo estimado	59
6.3. Globo-kinect	63
6.4. Medición desfase percepción del globo	64
6.5. Pasillo-kinect	66
8.1. Lista de partes módulo maestro	74
8.2. Lista de partes módulos esclavos	76
8.3. Lista de partes indicador de voltaje	78
8.4. Lista de partes potencia	80

ÍNDICE DE CUADROS

1

Introducción

1.1. Marco del proyecto

El presente proyecto fue realizado en el grupo de robótica y cibernética de la universidad politécnica de Madrid en conjunto con el grupo de percepción y acción de la universidad autónoma de Madrid.

Dentro del grupo de robótica y cibernética se manejan proyectos enfocados al desarrollo de robots y su utilización en actividades diarias como la agricultura y vigilancia, también se manejan investigaciones en áreas de generación de trayectorias, redes de robots, robots de servicio, integración de robots en centros urbanos dispositivos de sustitución sensorial entre otros con el fin de mejorar y desarrollar la tecnología existente en este campo hasta los momentos.

En el grupo de percepción y acción de la Universidad autónoma de Madrid se consideran las aproximaciones de la teoría de Gibson con respecto a la percepción visual y la aproximación de Bernstein para el control motor y la forma en la cual nuestras acciones son dependientes de la forma en la cual percibimos el mundo.

Mediante este proyecto de colaboración se pretende aprovechar las fortalezas de cada uno de los grupos para crear un dispositivo que sirva de ayuda para realizar estudios en el área de la percepción humana y que a su vez pueda ser utilizado en investigaciones de sustitución sensorial y realidad aumentada de forma tal que los estímulos utilizados sean los idóneos para que el individuo que utilice el sistema perciba de mejor manera el entorno.

1. INTRODUCCIÓN

1.2. Motivación

La capacidad de transmitir información al ser humano mediante medios no convencionales permite que el mismo pueda tener una mejor percepción del entorno que le rodea, por ejemplo se puede indicar mediante el tacto la dirección de alguna condición anómala que involucre algún tipo de peligro.

Los estudios sobre la sustitución sensorial han comprobado que la misma es un medio eficaz para transmitir información aunque la misma no sea enviada a través de los medios convencionales, interfaces de sustitución sensorial visual-tacto, visual-auditiva, auditiva-tacto han sido desarrolladas y cada una de las cuales ha presentado ventajas y desventajas.

Segun datos de 'World Health Organization' 285 millones de personas están visualmente impedidas de las cuales 39 millones son ciegas y 246 millones tienen visión baja, es esta una de las razones por las cuales este proyecto fin de máster se enfoca en las interfaces de sustitución sensorial vista-tacto, con las misma se puede lograr ayudar a personas con impedimentos visuales a comprender mejor el que los rodea mediante la utilización de actuadores táctiles que permitan transmitir información de distancia de los objetos y el tamaño de los mismos.

La principal motivación de este proyecto es colaborar en el desarrollo y comprobación de hipótesis en el campo de la percepción humana y responder preguntas tales como ¿Es útil la sustitución sensorial?, ¿cómo percibe el ser humano el flujo vibrotáctil?, ¿cuál es la mejor manera de activar los actuadores táctiles de forma tal que éstos estímulos sean interpretados mejor?.

Al responder estas preguntas se pueden elaborar interfaces vibrotáctiles en las cuales se aprovechen de la mejor manera posible los posibles estímulos que se pueden generar y así el individuo que la está utilizando logre una mejor interpretación del ambiente que lo rodea.

1.3. Estructura del trabajo

A continuación se presenta una breve descripción de los capítulos que conforman el presente trabajo final de máster.

- El capítulo 2 presenta los fundamentos teóricos del proyecto, conceptos básicos, definición del flujo vibrotáctil y estado del arte de las interfaces de sustitución sensorial.
- En el capítulo 3 se presentan la arquitectura de la interfaz vibrotáctil, formas de comunicación, principios de funcionamiento y detalles constructivos.
- El capítulo 4 se describe la integración de la interfaz a la cámara Microsoft kinect, obtención de distancia de los objetos, utilización de ROS y transmisión inalámbrica de datos desde ROS hacia la interfaz.
- El capítulo 5 se preseta el concepto de tiempo de contacto y cual es su función en la percepción del ambiente y la integración del dispositivo con MATLAB para trabajar con ambientes virtuales.
- El capítulo 6 se exponen las pruebas y resultados obtenidos con el uso de la interfaz vibrotáctil en los experimentos con la kinect y los ambientes virtuales
- En el capítulo 7 se presentan las conclusiones y trabajos futuros

1. INTRODUCCIÓN

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo principal

- Desarrollo de una interfaz de sustitución sensorial portátil mediante la cual se pueda presentar el flujo vibrotáctil.

1.4.2. Objetivos secundarios

- Evaluar y caracterizar los actuadores de vibración comprobando que el los mismos puedan ser utilizados para representar el flujo vibrotáctil.
- Estudiar y establecer medios para la transmisión inalámbrica de datos.
- Evaluar el uso y la integración de la interfaz háptica de sustitución sensorial con sensores que permitan la exploración activa de ambientes reales.
- Integración de la interfaz háptica de sustitución sensorial con entornos de programación que permitan la generación de ambientes virtuales.
- Realizar experimentos para el estudio del flujo vibrotáctil y su importancia en la determinación de variables de alto orden tales como el tiempo de contacto.
- Realizar experimentos para el estudio de la validez del uso de la interfaz para la exploración activa en ambientes reales.

2

Fundamentos

Por mucho tiempo se ha resaltado la importancia de la detección del flujo óptico en la detección de movimientos y objetos, la manera en la cual el continuo cambio de direcciones e intensidades de la luz reflejada por los objetos en nuestro entorno nos permite percibir el ambiente que nos rodea a través del sentido de la vista. Basados en este hecho se plantea la importancia del flujo vibrotáctil en interfaces de sustitución sensorial, y determinar la forma en la cual el flujo vibrotáctil interviene en la percepción del ambiente cuando se utilizan interfaces de sustitución sensorial

Para tener un mejor entendimiento de la percepción a través del sentido del tacto comenzaremos con una breve explicación de los receptores que se encuentran en la piel y que están encargados de sensor las señales físicas de elementos que se encuentran en contacto con nuestra piel.

2.1. Receptores táctiles

El sentido del tacto, es aquel que permite percibir cualidades de los objetos y medios tales como la presión, temperatura, aspereza, suavidad o dureza. En el ser humano es considerado como uno de los sentidos básicos. Los receptores de este sentido se encuentran principalmente en la piel y los mismos se encargan de transformar los estímulos del exterior en información que pueda ser procesada por el cerebro. existen diferentes tipos de receptores en la piel los cuales se presentan en el cuadro 2.1

A continuación se presenta una breve explicación de aquellos que intervienen en los procesos psicológicos que son estudiados con la ayuda de la interfaz.

2. FUNDAMENTOS

Tipo	Receptor
Mecanoreceptor	Corpúsculo de Meisseiner
	Corpúsculo de Pacini
	Terminaciones de Rufino
	Receptores de Merkel
	Terminaciones nervionas simples
	Receptores de los folículos pilosos
Quimiorreceptores	Nociceptores
	Intereceptores
Termoreceptores	Receptores calor y frio

Cuadro 2.1: Receptores en la piel

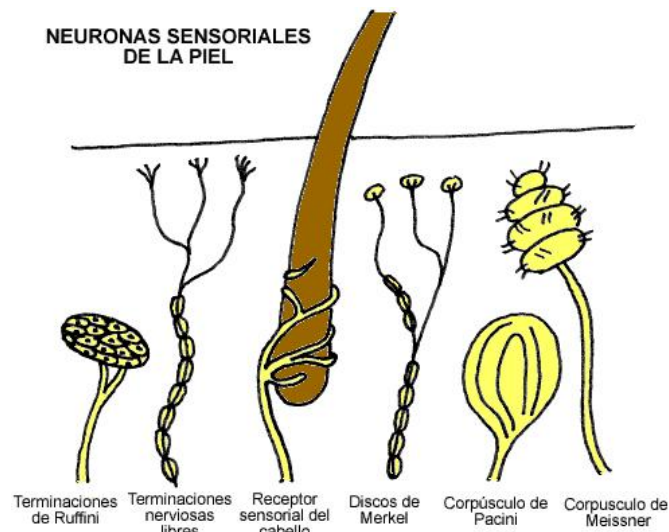


Figura 2.1: Tipos de receptores - Receptores que se encuentran presentes en la piel

Los *corpúsculos de Meissner*, 2.2 son un tipo de terminaciones nerviosas en la piel que son responsables de la sensibilidad para el tacto ligero. En particular, tienen la mayor sensibilidad (el umbral de respuesta más bajo) cuando reciben vibraciones de menos de 50 Hertzios.

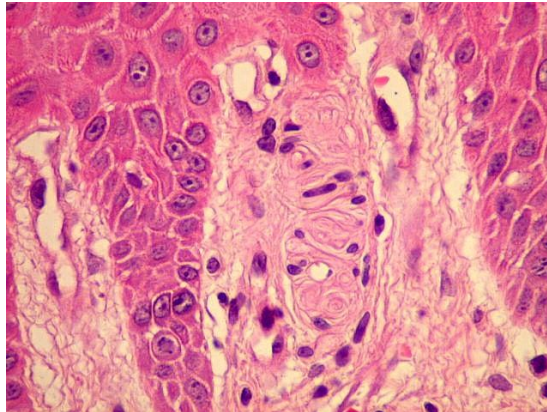


Figura 2.2: Corpúsculo de Meissner - Capa de la piel donde se muestran los corpúsculos de Meissner

Cualquier deformación física del corpúsculo causará una acción en el nervio. Dado que son de adaptación rápida o fásicos, los potenciales de acción generados decrecen rápidamente y cesan eventualmente (ésta es la razón por la que se deja de "sentir" la ropa que uno lleva puesta). Si el estímulo se elimina, el corpúsculo recupera su forma y mientras eso ocurre (es decir se está deformando físicamente) causa que se genere otra descarga de potenciales de acción. Debido a su localización superficial en la dermis, estos corpúsculos son particularmente sensibles al tacto y vibraciones, pero por las mismas razones, están limitados en la detección porque solo pueden señalar que algo está tocando la piel.

Los *corpúsculos de Pacini*, 2.3 son receptores sensoriales de la piel que responden a las vibraciones y la presión mecánica. Poseen una cápsula de tejido conectivo más desarrollada y tienen varios milímetros de longitud. Los corpúsculos son elipsoidales y poseen una cápsula compuesta por numerosas capas de células de tejido conectivo aplanadas. Cada capa o lámina está separada de las demás por fibras de colágeno y material amorfo. La cápsula rodea un espacio central. Cada corpúsculo recibe una fibra nerviosa gruesa mielinica, que pierde su vaina de mielina y penetra en el espacio central.

2. FUNDAMENTOS

El axón desnudo recorre el espacio central sin ramificarse y forma un engrosamiento terminal.

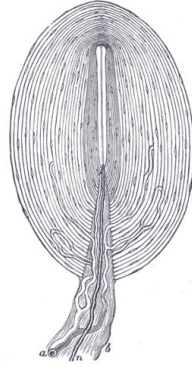


Figura 2.3: Corpúsculo de Pacini - Se muestra un corpúsculo de Pacini

Las *terminaciones nerviosas de Merkel* son mecanorreceptores que se encuentran en la piel y mucosa que proporcionan información al cerebro. Dicha información tiene que ver con la presión y la textura. Cada terminación consta de una célula de Merkel en oposición cercana con una terminación nerviosa. En ocasiones recibe el nombre de discos de Merkel. Una única fibra de un nervio aferente se ramifica para inervar hasta 90 terminaciones parecidas.

Su estructura semi-rígida y el hecho de que no están encapsuladas hace que tengan una respuesta sostenida (en forma de potenciales de acción o picos) a la desviación mecánica del tejido. Son los más sensibles de los cuatro tipos principales de mecanorreceptores a las vibraciones de baja frecuencia, entre los 5 y los 15 Hz.

Debido a su respuesta sostenida a la presión, las terminaciones nerviosas de Merkel se clasifican como de lenta adaptación, en contraste con los corpúsculos de Pacini (receptores de rápida adaptación que responden únicamente al inicio y final de la desviación mecánica, y a las vibraciones de alta frecuencia).

2.2. Flujo óptico

El flujo óptico se define como el patrón de movimiento aparente de los objetos, superficies y bordes en una escena causado por el movimiento relativo entre un observador y la escena, ver 2.4.

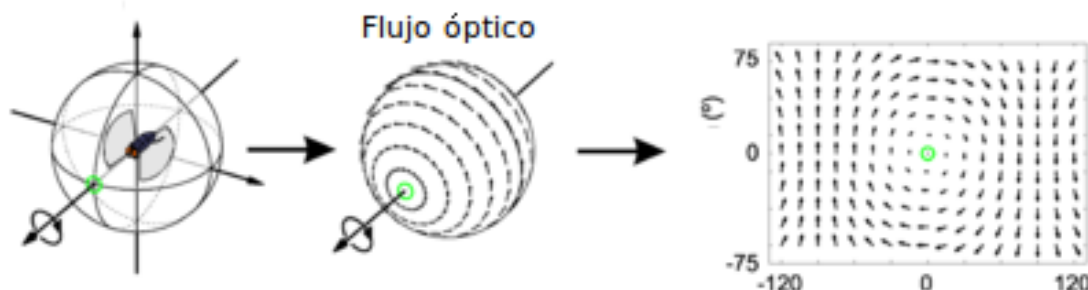


Figura 2.4: Flujo óptico - Flujo óptico

El flujo óptico es usado naturalmente por los seres humanos, los cambios de luminosidad, tamaño, textura entre otros son las variables que usamos para interpretar el movimiento de los objetos y nuestra posición respecto a ellos.

Al conocer la forma en la cual el flujo óptico es usado naturalmente, se han desarrollado aplicaciones para la detección de movimiento, la segmentación de objetos, cálculo del tiempo hasta la colisión, la codificación del movimiento compensado, la medición de la disparidad estereoscópica en las mismas se utiliza el movimiento de las superficies y bordes de los objetos para lograr sus propósitos. Al asumirse los desplazamientos entre una imagen y la siguiente como pequeños, se puede estimar el flujo óptico de la forma que se indica en la ecuación 2.1.

$$I(x + dx, y + dy, t + dt) = I(x, y, t) + dx * \frac{\partial I}{\partial x} + dy * \frac{\partial I}{\partial y} + dt * \frac{\partial I}{\partial t} \quad (2.1)$$

Entre los algoritmos que permiten determinar el flujo óptico entre imágenes consecutivas, los más destacados son el algoritmo de Lucas-Kanade y el algoritmo de Horn-Schunck, se han escrito una gran cantidad de artículos sobre flujo óptico y su estimación, para mayor información ver (1).

2.3. Flujo vibrotáctil

Al utilizarse la sustitución sensorial visión-tacto, se presenta la pregunta de si existe una variable similar al flujo óptico de manera tal que nuestro cuerpo interprete las variaciones de vibración con respecto al tiempo y pueda determinar de que forma se mueve un objeto.

2. FUNDAMENTOS

Se han realizado varios estudios para determinar la forma en la cual interpretamos el flujo táctil. Los primeros estudios sobre la forma en la cual interpretamos los estímulos en la piel se realizaron sobre la ilusión táctil (2) para ello se colocan dos actuadores en partes separadas de la piel y al activarse una secuencia rápida de estímulos en los actuadores las personas percibían la existencia de un flujo continuo de estímulos táctiles entre los dos puntos ver figura 2.5 a pesar que solo se tienen estímulo sobre dos puntos.

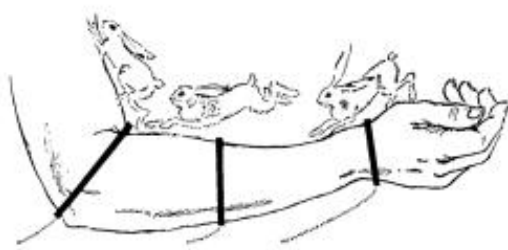


Figura 2.5: Efecto saltation - Imagen tomada de (2)

Los experimentos realizados en (3) en los cuales se propone que el flujo vibrotáctil es tan importante como el flujo óptico para la percepción del ambiente cuando son usados dispositivos de sustitución sensorial 2.6, en este artículo se llegó a comprobar la importancia del flujo vibrotáctil para la detección de escalones.

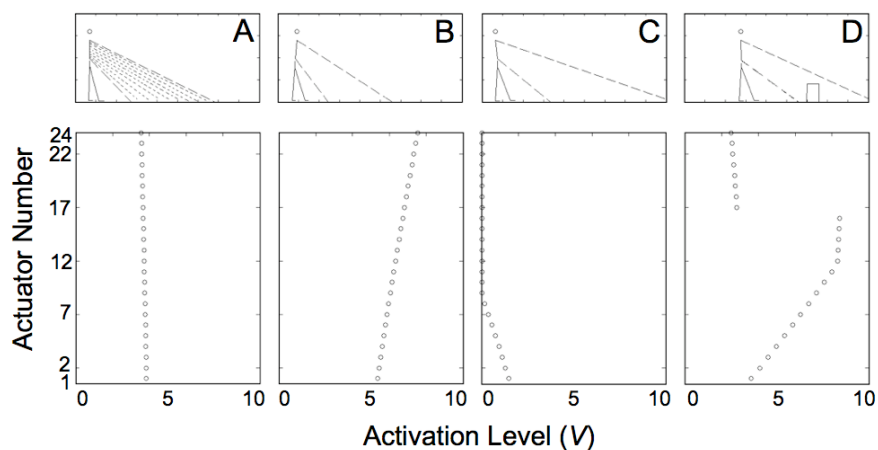


Figura 2.6: Flujo Vibrotáctil detección de escalones - Tomado de (3)

En otros estudios se ha comprobado la similitud entre los sentidos de la visión y el

tacto en (4) analizan como los estímulos táctiles y visuales activan las mismas zonas del cerebro.

Todos estos estudios nos llevan a concluir que el flujo vibrotáctil es una herramienta poderosa para presentar información a las personas que utilizan dispositivos de sustitución sensorial vista-tacto y es importante profundizar en identificar cual es la mejor manera de presentar dichos estímulos de flujo para lograr una mejor percepción del ambiente.

2.4. Sustitución sensorial

La sustitución sensorial es el término que se le da a la transmisión de información que usualmente es enviada a través de una forma sensorial por otra, se espera que la sustitución sensorial permita ayudar a personas discapacitadas a percibir cierto tipo de información a través de canales no usuales para reemplazar o ayudar a interpretar señales provenientes de algún sentido defectuoso. También la sustitución sensorial es usada para aumentar las capacidades de percepción del entorno de las personas, por ejemplo se han desarrollado dispositivos que envían señales táctiles a los pilotos de aviones cuando alguna variable está fuera de rangos ideales. Otra muestra se encuentra en la industria del automóvil, en la cual los volantes en la actualidad son capaces de vibrar para indicar situaciones irregulares como un coche frenando o al detectar conducción irregular. En nuestro caso nos centraremos en la sustitución tacto-visión, este tipo de sustitución está generalmente enfocado a ayudar a personas con discapacidades visuales.

Las principales formas de sustitución sensorial son: *tacto-visión* en la cual señales que estimulan los receptores del tacto indican información que usualmente es recibida a través del sentido de la vista y generalmente indican la distancia de los objetos, existencia de bordes o la dirección en la cual se encuentran.

En el caso de la sustitución *audición-visión*, se pretende transmitir información visual a través del sentido de la audición. Para ello se han desarrollado muchos estudios en los cuales se ha obtenido un modelo de la cloquea y se transmite información visual mediante tonos de distintas frecuencias (5) o simplemente se generan comando de voz describiendo la situación.

2. FUNDAMENTOS

Para la sustitución *tacto-audición*, se pretende transmitir información concerniente a los sonidos que se encuentran en el ambiente mediante el sentido del tacto, ya sea codificado (Braille) o a través del uso modelo de la cloquea e interfaces vibrotactiles, ver (6).

2.5. Estado del arte

Muchas interfaces de sustitución sensorial se han desarrollado hasta el momento, por ejemplo en el campo de la robótica se han desarrollado interfaces *fuerza- audición*, *fuerza-visión* entre otras, (7), en las cuales se utilizan señales auditivas o visuales para indicar que nivel de fuerzas está siendo empleada por un robot en un ambiente remoto. en (8, 9) se encuentra una comparación entre estas clases de sustitución sensorial. El trabajo en este campo ha permitido desarrollar la teoría de substitución sensorial así como desarrollar conceptos como el de realidad aumentada que han sido de mucha utilidad para estudiar el comportamiento de ser humano ante distintos estímulos.

En uno de los campos donde se ha utilizado la sustitución sensorial es en la industria del automóvil, en este caso se pretende aumentar la capacidad de los individuos para percibir el ambiente (10) indicando a través del tacto el lugar de donde proviene algún tipo de situación peligrosa de manera tal que el individuo pueda fijar su atención hacia dicho sitio. Gracias a este tipo de ayuda se logró disminuir el tiempo de respuesta de los conductores en situaciones peligrosas. En la figura 2.7 se muestra la estructura del experimento, el cual se desarrollo en una cabina diseñada especialmente para las pruebas, en las cuales se encontraban dos monitores, uno en la parte delantera y otro en la parte trasera, a los individuos que participaban en el expperimento se le colocaba un cinturón con un tactor en la parte delantera y otro tactor en la parte posterior del cuerpo para indicar la dirección en la cual se encontraba la situación peligrosa.

Por otro lado se están realizando muchos estudios enfocados a la ayuda de personas que hayan perdido alguno de sus sentidos, se ha demostrado que aunque el órgano que está encargado de obtener las señales del exterior y transmitirla al cerebro no funcione la capacidad del cerebro de procesar dichas señales permanece intacta y debido a esto al recibir datos, aunque sea por medios distintos a los inicialmente provistos, el cerebro es capaz de procesar dicha información y lograr que las personas puedan realizar una interpretación del ambiente que los rodea.

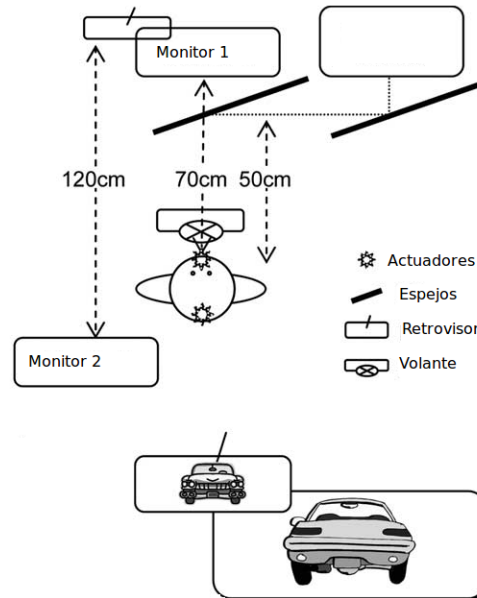


Figura 2.7: sustitución táctil - Direccionamiento de la atención visual

Se han presentados distintos trabajos en donde se expone la capacidad del cerebro de procesar señales provenientes de sesores que no son los habituales (11) y adaptar su estructura interna de manera tal que se aproveche la capacidad de procesamiento a pesar que el órgano encargado en primera instancia de realizar el sensado se encuentre incapacitado tal como se demostro en (12) en donde zonas del cerebro dedicadas al procesamiento de señales visuales fueron activadas por señales audibles.

En el trabajo desarrollado por (13), se presenta una interfaz en la cual las personas son capaces de experimentar información visual a traves de información táctil enviada a los receptores táctiles hubicados en la lengua mediante un arreglo de 12x12 electrodos ubicados en la lengua, mendiante estos ensayos se comprobó la capacidad que tiene el cerebro de modificar su estructura para aprovechar señales que llegan a través de medios no convencionales. Cómo principal desventaja del dispositivo háptico es que el mismo se debe colocar en la lengua lo cual ocasiona incomodidad en la persona y disminuye las capacidades de comunicación del individuo en prueba.

Otro ejemplo de dispositivos desarrollados para la sustitución sensorial es el presentado en (14) en el mismo se desarrollo un modelo para la audición y mediante una cámara se obtenian imagenes se procesaban y encontraban los bordes de las mismas ver

2. FUNDAMENTOS

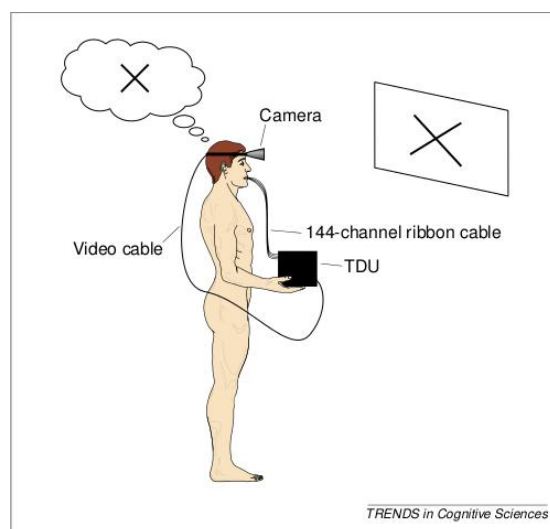


Figura 2.8: Interfaz háptica - Sustitución del sentido de la vista por sentido del tacto usando receptores en la lengua (13)

figura 2.9. A estos bordes se le asignaba una señal sinoidal con una frecuencia que posteriormente eran sumados obteniéndose una señal auditiva compleja que representaba el entorno. Este tipo de sustitución conlleva a la dificultad de pérdida de capacidades auditivas debido a que con el uso de este dispositivo de sustitución se mantiene ocupado el canal auditivo lo que implica que otro tipo de señales audibles no son escuchadas con facilidad.

En el grupo de robótica y cibernética se desarrolló una interfaz háptica multiuso la cual sirvió como comienzo para el presente trabajo fin de máster, en la misma se utilizaron módulos digital-analógicos de National Instruments y etapas de potencia para manejar los motores de la interfaz virbotáctil, en (3) se describe el sistema y se contrasta la exploración activa y la exploración contingente. El problema con este dispositivo es que los módulos digital-analógico que controlan la etapa de potencia debían estar conectados directamente al computador con lo cual se complica el transporte y la realización de pruebas con el mismo debido al gran número de cables y la extensión de los mismo, ver 2.10.

En (15) se presenta otro dispositivo en el cual se utilizan una combinación de señales *auditivas y táctiles* para reemplazar el sentido de la visión, el dispositivo en cuestión ataca el problema de la *micronavegación* y la *macronavegación* mediante dos enfoques, para el caso de la micronavegación se creó un dispositivo el cual genera trenes de pulsos

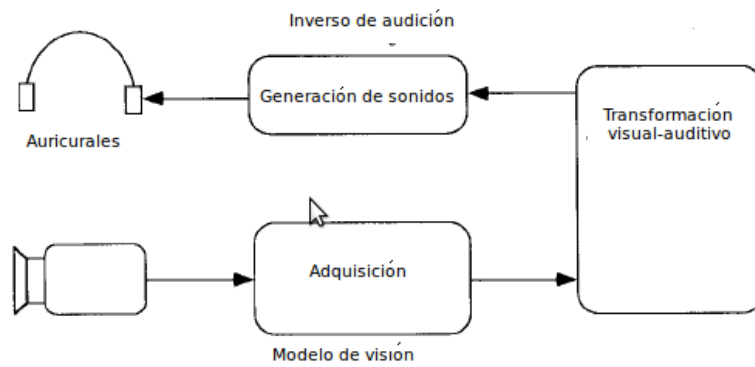


Figura 2.9: Sustitución visual-auditiva - Sustitución del sentido de la vista por sentido de la audición

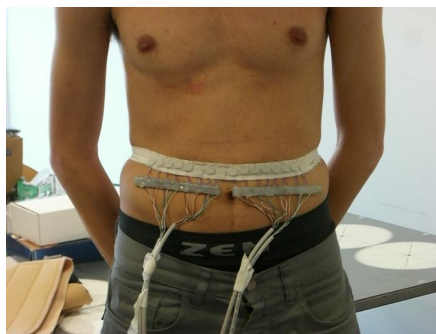


Figura 2.10: Sustitución visual-vibrotáctil - Interfaz desarrollada por el grupo de cibernética y robótica UPM-CSIC y utilizada por el grupo de percepción y acción UAM

2. FUNDAMENTOS

cuya separación en el tiempo es proporcional a la distancia a la cual se encuentren los objetos del individuo, la cual es calculada usando el dispositivo de Microsoft Kinect. Para el caso de la macronavegación el dispositivo es capaz de reconocer símbolos que son colocados a lo largo del recorrido e indican la localización de lugares de especial significado, como por ejemplo (baños, escaleras, ascensores) los cuales al ser reconocidos se transforman en señales auditivas indicando la proximidad u orientación de estos lugares. La principal desventaja de este dispositivo es el limitado número de motores que son utilizados para la micronavegación, solamente 6, esto trae como consecuencia que la información que se puede enviar a través de la piel se ve reducida drásticamente.

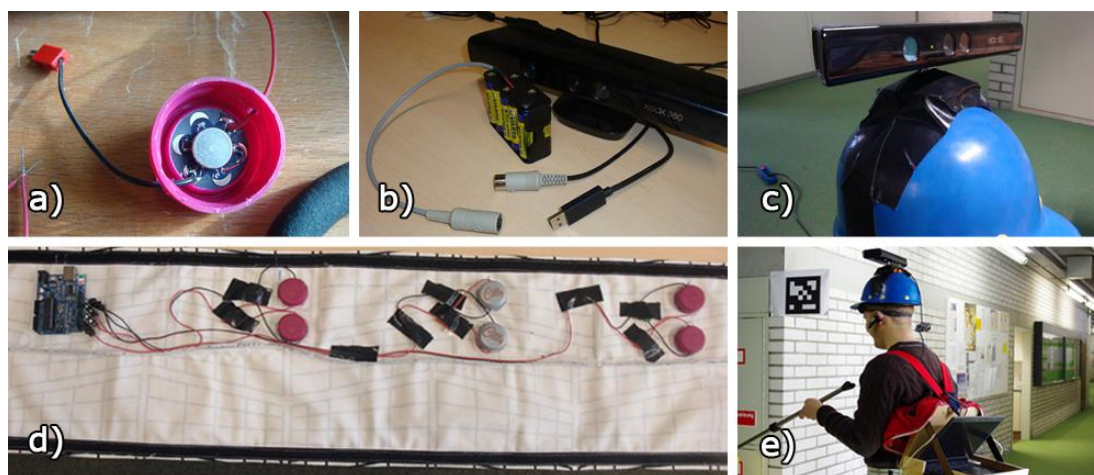


Figura 2.11: Interfaz vibrotáctil-auditiva - Se presentan los distintos componentes de la interfaz, a) Módulo LilyPad, b) Módulo Kinect, c) casco para trasladar el kinect d) motores para interfaz vibrotáctil y e) dispositivo completo

También es importante resaltar casos de investigación enfocados a dispositivos que puedan ser llevados de forma tal que se asemejen a formas de la ropa que son usualmente utilizadas o que no puedan ser distinguidos con facilidad. Esto tiene la finalidad de evitar que las personas discapacitadas se sientan diferenciadas del resto por el hecho de llevar un dispositivo que los identifique como persona con algún tipo de dificultades además de proveer interfaces de sustitución sensorial más fáciles de llevar y ergonómicas, un ejemplo de este caso es el que encontramos en (16) en el mismo se presenta un dispositivo que ayuda a las personas discapacitadas visualmente mediante señales audibles, al igual que otro tipo de dispositivos de sustitución sensorial vista-audición tiene la desventaja

que limita las capacidades del sentido de la audición de recibir señales distintas a las provenientes del dispositivo.



Figura 2.12: Interfaz 'wearable' - Sustitución sensorial con dispositivos 'wearable'

En este campo todavía es necesario mucho desarrollo de manera tal que se puedan reducir los actuadores y dispositivos de sustitución sensorial de manera tal que los mismos puedan ser integrados con facilidad en la indumentaria de uso diario sin que los mismos puedan ser detectados a simple vista o que resulten en algún tipo de incomodidad para los usuarios.

También es importante señalar algunas patentes desarrolladas sobre dispositivos de sustitución sensorial como el que se muestra en la patente US20110018696A1 'Vibro-tactile device for generating tactile sensation and intuitively transferring information to user' el dispositivo descrito en esta patente es capaz de transmitir información a través del sentido del tacto usando los receptores táctiles que se encuentran en la mano 2.13.

Otro ejemplo es el dispositivo que se muestra en la patente US2008140137-A1 'Sensory data integration system for assisting balance impaired subject in coping with balance impairment has processor that generates orientation signal indicative of difference between subject's orientation and acceptable orientation', en la cual se generan señales táctiles para corregir la orientación de personas discapacitadas.

El dispositivo patentado bajo el número JP2006212090-A 'Sensory-substitution apparatus for use by visually-impaired person, is pulled back closer towards user's

2. FUNDAMENTOS

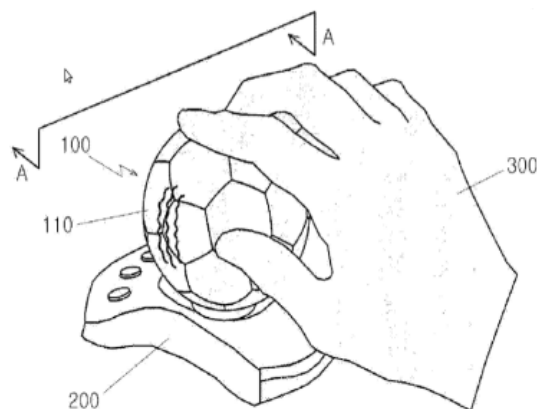


Figura 2.13: Interfaz-vivrotáctil - Imagen de la patente US20110018696A1 de una interfaz vibrotáctil

body according to location of obstruction' presenta un sistema que permite indica a las personas la profundidad de los objetos detectados en frente de los mismos 2.14.

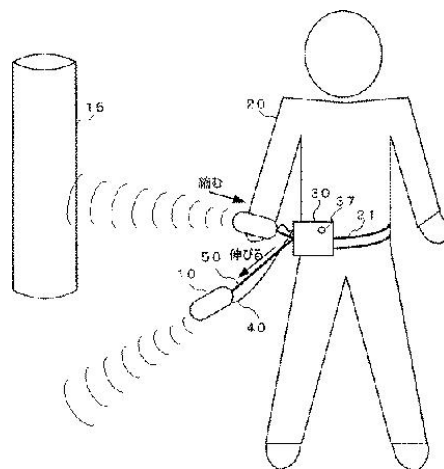


Figura 2.14: sustitucion sensorial tacto visión - Imagen de la patente JP2006212090-A de una interfaz vibrotáctil

Tambien podemos destacar la patente WO2005040989-A2 2.15 'Tactile input system for management of brain, has simulators implanted in skin of subject, which are independently configured to deliver mechanical, electrical or thermal form tactile stimulation' en la cual se presenta una forma de utilizar una serie de actuadores colocados en la piel para generar estímulos y ser utilizados para realizar sustitución sensorial.

En todas las patentes solo se presenta el dispositivo como un medio de indicación de

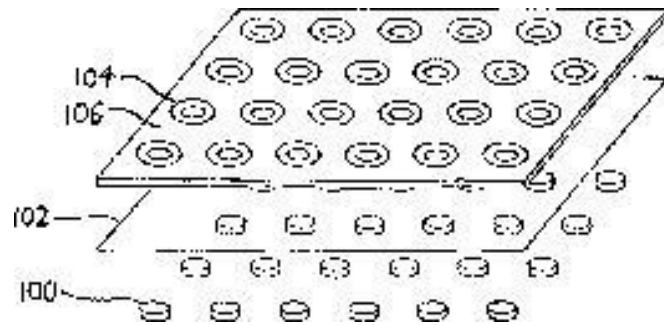


Figura 2.15: Estimuladores para sustitución sensorial - Imagen de la patente WO2005040989-A2

la cercanía de los obstáculos, nunca se indica la importancia del flujo vibrotáctil ni se presentan medios mediante los cuales se pueda presentar esta información (la mayoría solo tienen pocos tactores o medios de indicación), es por esto que consideramos que el dispositivo de sustitución sensorial es una herramienta con la cual se puede comprobar y desarrollar hipótesis además de proporcionar mayor información al usuario del sistema, diferenciándolo con el resto de los sistemas.

2.6. Fundamentos psicológicos

2.6.1. Percepción

La percepción es un proceso nervioso superior que permite al organismo, a través de los sentidos, recibir, elaborar e interpretar la información proveniente de su entorno y de uno mismo. La percepción no es solamente la recepción pasiva de los estímulos, si no que también involucra aprendizaje, memoria y expectativas que son generadas a través de los estímulos de bajo nivel que son recibidos a lo largo del tiempo. La percepción. La percepción está en la base de la adaptación animal, la forma en la cual interpretamos el mundo y cual es el efecto de las cosas que nos rodean modifican nuestro comportamiento y es una variable fundamental en las acciones que realizamos y la forma en la cual nos comportamos.

2.6.2. Teoría ecológica en la psicología

La teoría ecológica (17) se refiere al estudio de fenómenos psicológicos entre el individuo y su entorno, esta teoría fue iniciada por Gibson en 1979 referida como teoría

2. FUNDAMENTOS

ecologica de la percepción y control visual. En la teoría ecológica se propone que el ambiente es rico en información y por lo tanto no necesitan mecanismos inferenciales ni estados representacionales para obtener una percepción verídica del mundo que nos rodea. Esto contrasta con las teorías donde se presenta la percepción como indirecta o representacional, es decir, que el mundo que nosotros percibimos no es realmente lo que nos rodea si no una representación que hemos creado basandonos en la información que tenemos disponibles y mecanismos de percepción realizados en nuestro cerebro y por ende no se puede confiar totalmente en nuestros sentidos. La teoría ecologica por ende sugiere que el mundo que percibimos corresponde directamente con el mundo real, ya que en el mismo se dispone de suficiente información y se pueden establecer relaciones suficientes sin la necesidad de estados representacionales que nos ayuden a peribir el mundo. La teoría ecológica en la psicología es muy amplia y compleja, por lo que queda fuera del alcance de las explicaciones de este trabajo fin de máster, para un mejor entendimiento de la misma se puede referir a (18).

3

Arquitectura y Construcción de la interfaz vibrotáctil

El proyecto de la interfaz de sustitución sensorial portable (retina táctil) nace de la necesidad de mejorar el dispositivo utilizado en el departamento de psicología de la universidad autónoma de Madrid 3.1. El mismo funcionaba con un número reducido de motores (32) y era necesario la utilización de una gran cantidad de cables conectados indirectamente hasta el computador para manejar los actuadores vibrotáctiles.



Figura 3.1: Interfaz háptica-multiuso - Interfaz usada en el departamento de psicología de la UAM

3. ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN DE LA INTERFAZ VIBROTÁCTIL

Para facilitar el desarrollo de los experimentos se decidió realizar la interfaz de sustitución sensorial portable, es decir, que la misma no esté necesariamente conectada al computador cuando este sea utilizado para calcular los niveles de vibración de los actuadores, para ello se estudiaron tecnologías que permitan la transmisión inalámbrica de datos y que puedan satisfacer las necesidades de refresco de niveles de vibración de los actuadores. Por otro lado se planteó aumentar el número de actuadores vibrotáctiles que puede manejar la interfaz llegando a manejar 78 actuadores por el momento, con la posibilidad de aumentar el número de los mismos. Finalmente se solicitó que la interfaz se pudiese integrar con sensores de profundidad para que con la misma se puedan realizar exploraciones de ambientes reales usando solamente el sentido del tacto.

3.1. Arquitectura de la interfaz vibrotáctil

La interfaz de sustitución sensorial está formada por un generador de comandos de vibración el cual determina el nivel de vibración requerido e cada uno de los motores para posteriormente transmitir los datos a través del puerto USB donde se encuentra un dispositivo USB-serial inalámbrico, el mismo transmite la información al microcontrolador máestro de una red I2C ubicado en la etapa de potencia, este recibe a través del puerto serie la información de vibración y se encarga de enviar por el bus I2C los niveles de ciclo útil a cada uno de los dispositivos esclavos además de controlar seis de los actuadores encargados de excitar los receptores táctiles en la piel.

Cada una de las partes que se muestran en la figura 3.2 son explicadas con mayor detalle en las siguientes secciones.

3.1.1. Generador de comandos de vibración

En la actualidad existen dos opciones para el generador de comandos, la primera es un ambiente simulado en Matab en la cual se generan niveles de intensidad de vibración que son proporcionales a las distancias que existen entre el individuo y algún obstáculo u objeto acercandose en el ambiente simulado.

La segunda opción es la utilización de la cámara Kinect para obtener distancias reales de los objetos en el mundo real con respecto a el usuario del sistema. En cada una de estas opciones se calcula ciclo útil correspondiente a cada uno de los actuadores y se envía inalámbricamente con un esquema de datos que se presenta en el cuadro 3.1

3.1 Arquitectura de la interfaz vibrotáctil

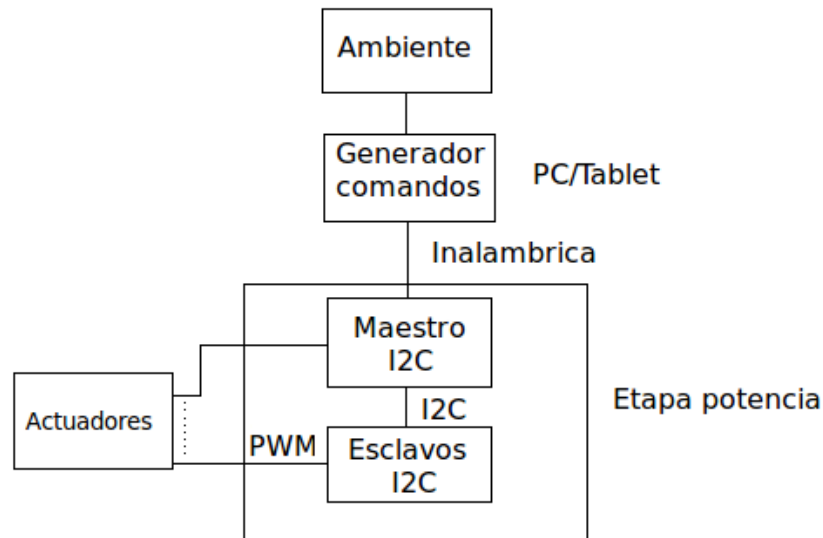


Figura 3.2: Arquitectura general - Arquitectura general de funcionamiento de la interfaz

- **Dispositivo:** Dispositivo de la red I2C el cual se está. direccionando
- **Modo:** Modo de funcionamiento del dispositivo.
- **Datos:** Información de vibración de los 6 motores del dispositivo direccionado.
- **Check sum:** byte utilizado para comprobar la validez de los datos recibidos.
- **Fin:** byte que indica final del comando.

Dispositivo	Modo	Datos	Check sum	Fin
1 byte	1 byte	6 bytes	1 byte	1 byte

Cuadro 3.1: Receptores en la piel

3.1.1.1. Ambientes virtuales

Los ambientes virtuales son generalmente ambiente simulados por computador en los cuales se puede recrear la presencia de objetos físicos del mundo real o ficticios,

3. ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN DE LA INTERFAZ VIBROTÁCTIL

los mismos son capaces de entregar información sensorial a través de la vista, tacto o audición a los usuarios para que los mismos perciban como real el ambiente simulado. Los ambientes virtuales son útiles para realizar estudios específicos, mediante ellos se pueden realizar experimentos en los cuales se aíslan las variables de interés y se puedan medir con facilidad las respuestas de los individuos en pruebas.

En la UAM se han desarrollado dos ambientes virtuales para el estudio de la percepción, en la primera el departamento de psicología de UAM desarrolló un programa en el cual se calcula la distancia de las personas a un objeto simulado, en este caso un escalón. Para la determinación de la distancia del usuario con respecto al escalón virtual se utiliza el sistema de cámaras Qualisys y un marcador colocado en el pecho de la persona. Posteriormente se genera un nivel de vibración proporcional a la distancia entre la persona y el objeto en el ambiente simulado.

Para el segundo caso se simula un objeto acercandose a la persona con una velocidad predeterminada y se generan comandos de vibración para cada uno de los motores en la interfaz de sustitución sensorial de forma tal que su activación este relacionada con el porcentaje de campo visual que ocuparía el objeto si se acercara directamente al rostro de la persona.

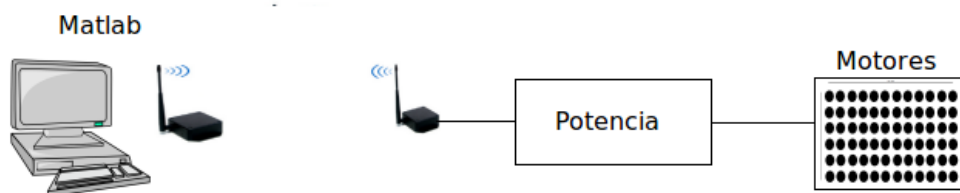


Figura 3.3: MATLAB-Interfaz - Arquitectura de la integración del dispositivo vibrotáctil con MATLAB

En general el sistema puede ser usado con cualquier ambiente virtual desarrollado en Matlab, solamente se debe insertar la función desarrollada con la finalidad de enviar inalámbricamente los comandos de vibración respetando el formato de la misma.

3.1.1.2. Utilización del kinect y python

Para este caso se utiliza la camara Kinect para obtener los datos de profundidad de los objetos, la cámara es conectada a un computador/Tablet/UCs con ROS instalado

3.1 Arquitectura de la interfaz vibrotáctil

en él y a través del driver openni se obtienen las distancias que fueron registradas por la cámara. Esta matriz de distancias es publicada por ROS en un tópico para el cual se creo un nodo subscritor en python el cual está encargado de leer la matriz de 640x480 puntos y transformarla a un mapa de 6x12 en la cual cada punto de la matriz representa el nivel de vibración de un actuador, posteriormente estos datos son enviados inalámbricamente a la interfaz vibrotáctil la cual hará que los actuadores de vibración estimulen a la persona con la frecuencia deseada 3.4.

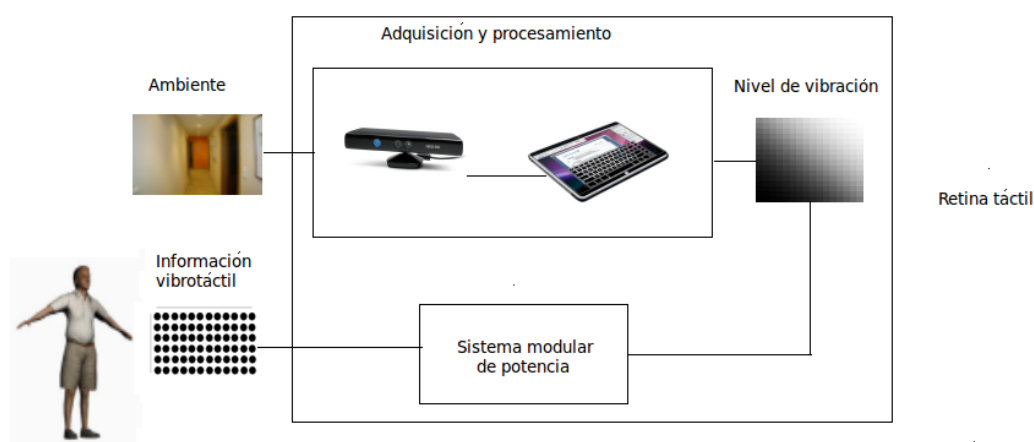


Figura 3.4: Kinect - interfaz de sustitución sensorial - Arquitectura de la integración del dispositivo

3.1.2. Transmisión inalámbrica de los datos

Para la transmisión de los datos desde el generador de comandos al prototipo se escogió la utilización de un dispositivo bajo el protocolo ZigBee. el cual permite establecer comunicaciones de alto nivel usando señales de radiofrecuencia de baja intensidad basadas en el protocolo IEEE 802 para redes personales. El protocolo ZigBee está definido con una velocidad de 250kbps lo que lo hace muy atractivo para trabajar con señales de transmisión desde un sensor o un dispositivo de entrada.

3.1.2.1. Protocolo 802.15.4

El protocolo IEEE 802.15.4 especifica la capa física y la capa acceso al medio para redes personales inalámbricas de bajo radio de transmisión, la cual es la base para

3. ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN DE LA INTERFAZ VIBROTÁCTIL

ZigBee, ISA y MiWi entre otras, cada una de las cuales extiende las capas superiores que no estan definidas en este protocolo.

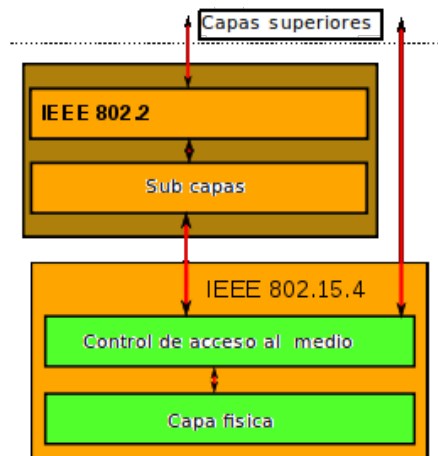


Figura 3.5: Esquema 802.15.4 - Protocolo usado por ZigBee

3.1.3. SSH y activación de nodo de ROS remotamente

SSH por su nombre en ingles 'secure shell' es un protocolo para comuninación segura de datos que permite la ejecución de comandos y otros servicios de red entre dos computadoras funcionando en la misma red bajo una topología de cliente-servidor.

Usando SSH es posible lanzar un nodo de ROS remotamente, de esta forma se puede activar y desactivar el nodo encargado de manejar los actuadores de vibración remotamente, haciendo que el manejo de la interfaz se realice de una manera más sencilla.

Para nuestro caso, colocamos en un morral la etapa de potencia que maneja los actuadores táctiles y un PC el cual se encarga de recibir los datos de profundidad obtenidos de la kinect y procesarlos. Para activar y desactivar el nodo de ROS que controla los actuadores se utilizó un dispositivo con conexión a internet, tal cómo un teléfono móvil conectado a la misma red del PC y mediante este se lanzaban remotamente el nodo de ROS antes mencionado.

3.1.4. Estructura I2C

I2C es un bus de comunicaciones serie. Su nombre viene de Inter-Integrated Circuit (Circuitos Inter-Integrados). La velocidad es de 100Kbits por segundo en el modo estándar, aunque también permite velocidades de 3.4 Mbit/s. Es un bus muy usado en la industria, principalmente para comunicar microcontroladores y sus periféricos en sistemas integrados (Embedded Systems) y generalizando más para comunicar circuitos integrados entre si que normalmente residen en un mismo circuito impreso.

La principal característica de I2C es que utiliza dos líneas para transmitir la información: una para los datos y por otra la señal de reloj. También es necesaria una tercera línea, pero esta sólo es la referencia (masa). Como suelen comunicarse circuitos en una misma placa que comparten una misma masa esta tercera línea no suele ser necesaria.

El maestro después de recibir los datos inalámbricamente se encargará de transmitir usando el protocolo I2C los niveles de vibración para cada uno de los motores, en la figura 3.6 se puede observar el esquema de conexión del dispositivo maestro con los esclavos.

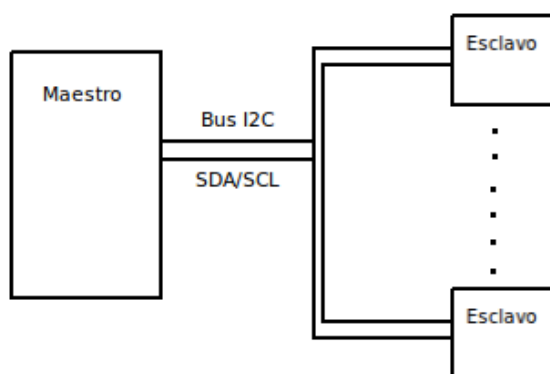


Figura 3.6: Conexión I2C - Esquema de conexión red I2C

3. ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN DE LA INTERFAZ VIBROTÁCTIL

3.2. Construcción

A continuación se presentan las distintas partes que conforman el dispositivo de sustitución sensorial, cual es la función de las mismas y características importantes. También se presenta el dispositivo ensamblado finalmente las limitaciones del mismo.

3.2.1. Actuadores de vibración

Los actuadores de vibración son los elementos finales en la interfaz de sustitución visual por vibrotáctil, los mismos proporcionarán información de la distancia de los objetos e información del tamaño que ocuparían los mismos en el campo visual de ser captados a través de la vista.

Estos vibradores se escogieron de manera tal que su espacio fuese reducido y pudieran ser distribuidos uniformemente en distintas partes del cuerpo. cómo por ejemplo abdomen, tobillo, antebrazo entre otros, en el cuadro 3.2 resaltamos las características más resaltantes de los mismos.

carácterística	Descripción
Radio	0.6 cm
Intensidad máxima	80mA
Voltaje de operación	2.3-3.3 volts

Cuadro 3.2: Características actuadores de vibración

Para manejar el nivel de vibración de los motores en el prototipo se utilizan señales moduladas por ancho de pulso (PWM por sus siglas en ingles), es decir señales con período fijo y con la cantidad de tiempo en alto variable dependiendo de la necesidad de excitación que se requiere en los motores ver figura 3.7.

Para realizar una caracterización de los motores se realizaron pruebas cuantitativas y pruebas cualitativas, de manera tal de determinar cómo la variación del ciclo útil de la señal PWM afecta la vibración en los motores y cómo estas variaciones son percibidas por los individuos.

3.2.1.1. Caracterización cuantitativa

Para realizar esta caracterización se conectó el prototipo a un motor y se utilizó el sistema Qualisys para medir la variación de la vibración y desplazamiento en el eje z

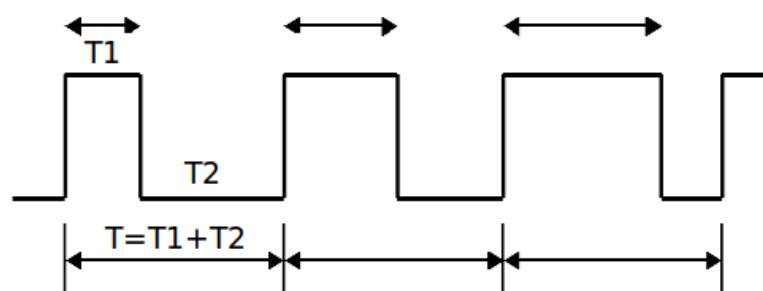


Figura 3.7: Modulación en ancho de pulso - $T1$ = tiempo en alto, $T2$ = tiempo en bajo y T = período

de un marcador colocado sobre un motor a medida que se iba aumentando el ciclo útil de la señal PWM la cual proveía de energía al motor en estudio.

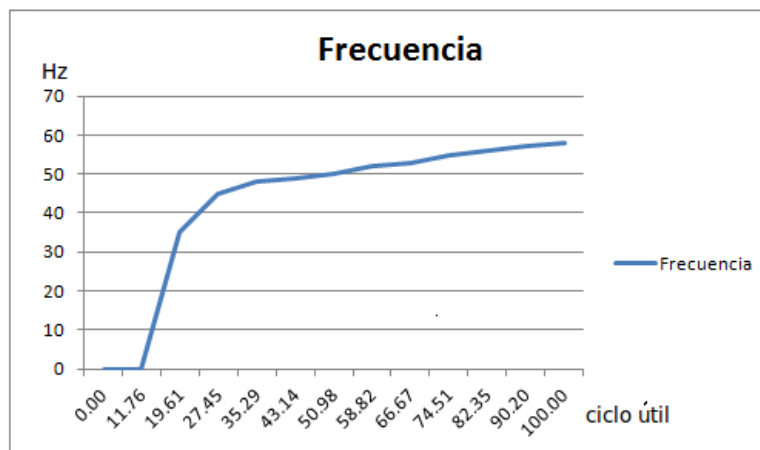
En este caso se pudo determinar los niveles de vibración que se alcanzan al variar el ciclo útil de la señal PWM, el desplazamiento y la frecuencia del motor aumentaban tal y cómo se muestran en la figura 3.8a, en la misma se puede notar que hasta señales de alrededor de 15 % del ciclo útil, el actuador no se encuentra totalmente activo y para ciclos útiles mayores el actuador entra en una zona prácticamente lineal. Estas variaciones con respecto al ciclo útil nos dan un claro indicio de que los motores pueden ser utilizados como elemento final de la interfaz de sustitución sensorial.

3.2.1.2. Caracterización cualitativa

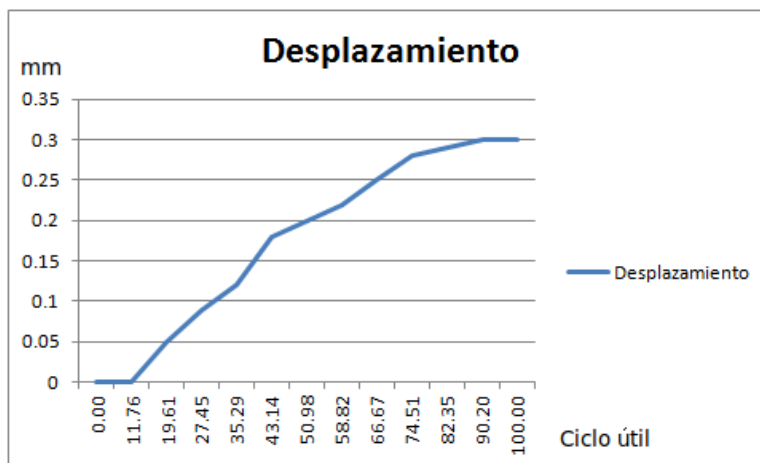
Una de las características más importantes que son deseables en el dispositivo es que el usuario sea capaz de distinguir entre distintos niveles de vibración lo que permite que la información de proximidad de los objetos pueda ligarse con distintos niveles de vibraciones, para lo mismo se procedió a realizar variaciones del ciclo útil en un ordenes de magnitud de 10 % y se solicitaba a los individuos en prueba que indicaran si eran capaces de percibir el cambio de vibración en el motor correspondiente. En el cuadro 3.3 se muestra los resultados obtenidos.

De los resultados se puede inferir que las personas son capaces de identificar cambios de 10 % en el ciclo útil salvo en el primer paso de 0-10 % en el cual el actuador no había entrado en la zona lineal y para el caso del cambio de 90 a 100 % en el cual el aumento de la vibración en comparación con el nivel actual era mucho menor.

3. ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN DE LA INTERFAZ VIBROTÁCTIL



(a) Frecuencia



(b) Desplazamiento

Figura 3.8: Caracterización cuantitativa actuadores

ciclo útil	Percepción del cambio				
Participante	1	2	3	4	5
0-10 %	No	No	No	No	No
10-20 %	Leve	Leve	Leve	Leve	Leve
20-30 %	si	si	si	si	si
30-40 %	si	si	si	si	si
40-50 %	si	si	si	si	si
50-60 %	si	si	si	si	si
60-70 %	si	si	si	si	si
70-80 %	si	si	si	si	si
80-90 %	cambio menor	si	cambio menor	si	Cambio menor
90-100 %	Muy poco	Muy poco	Muy poco	No	Muy poco

Cuadro 3.3: Caracterización cualitativa

3.2.2. Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado programable, el mismo Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Un microcontrolador tiene en general las tres siguientes partes funcionales, unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada y salida.

La interfaz de sustitución sensorial vibrotáctil está conformada por trece microcontroladores los cuales están encargados de recibir los datos de vibración y generar la señal de alimentación necesaria para cada uno de los motores asociados, en la interfaz se utilizan dos tipos de microcontroladores los cuales explicamos a continuación.

3.2.2.1. Microcontrolador maestro

El microcontrolador maestro un Arduino Fio con un módulo XBee adjunto, es un elemento con un nivel mayor de capacidades las principales características se expresan en el cuadro 3.4.

El mismo está encargado de recibir inalámbricamente las señales provenientes del generador de comandos a través de un módulo XBEE, el cual funciona bajo las especificaciones 802.15.4-2003 que permiten la transmisión de datos punto a punto o punto a multipunto con una velocidad de hasta 250Kbits/s, transmitir la información de niveles

3. ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN DE LA INTERFAZ VIBROTÁCTIL

Característica	Descripción
Velocidad	8 MHz
FLASH	32Kb
Comunicaciones	Serial, SPI, I2C, permite conexión con módulo xbee
Dimensiones	2.8cm x 6.6cm

Cuadro 3.4: características microcontrolador maestro

de vibración a través del bus I2C a los dispositivos esclavos y activar las señales de vibración correspondientes a los motores manejados por el mismo, además de verificar que exista la conectividad con los esclavos en la figura 3.9 se muestra el microcontrolador usado en el dispositivo.

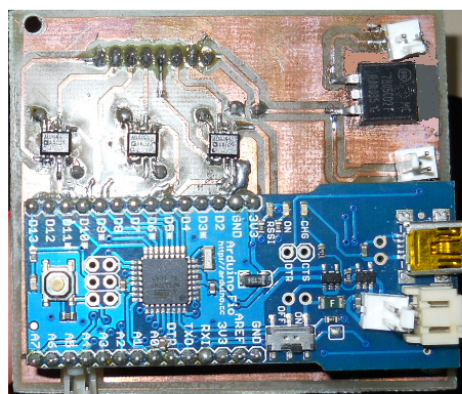


Figura 3.9: Tarjeta Maestro - desarrollada para microcontrolador maestro

para el dispositivo maestro se desarrolló una tarjeta de circuito impreso mediante el cual se proporciona la energía necesaria para el funcionamiento del sistema, conexión de salida para el bus I2C y una etapa de potencia que proporciona la intensidad necesaria para manejar los motores de la faja.

3.2.2.2. Microcontrolador esclavo

Este dispositivo es un elemento de menor capacidad, un Arduino ProMini, el mismo simplemente recibe los datos de nivel de vibración a través del bus I2C y genera señales

PWM en sus salidas para activar a los motores. El mismo tiene la característica de ser muy pequeño sus dimensiones son de 1,8x3.3 cm ver figura lo que permite una excelente relación tamaño/capacidad.

Para el módulo esclavo también se desarrolló una tarjeta de circuito impreso cuyo propósito es de servir de etapa de potencia para los motores y proporcionar la energía y conexión de entrada para el bus de comunicaciones I2C 3.10.

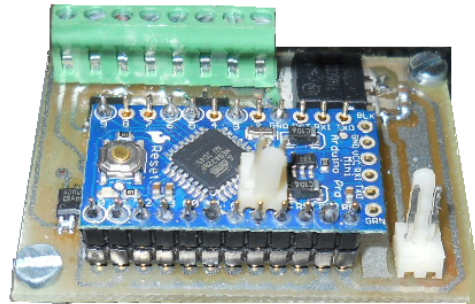


Figura 3.10: Tarjeta Esclavo - Tarjeta desarrollada para los microcontroladores esclavos

3.2.3. Manejo de potencia de las salidas de los microcontroladores

Cómo se menciono anteriormente los microcontroladores arduino no pueden suministrar suficiente intensidad para manejar los actuadores de vibración, los cuales requieren una intensidad máxima de 80 mA cada uno y cada tarjeta controla 6 actuadores. Es por esto que fue necesario diseñar una etapa potencia que permita controlar los actuadores, para esto fue necesario utilizar un amplificador operacional en modo seguidor, para ello se escogió el AD8646ARZ, el cual es capaz de entregar hasta 150mA por cada una de sus salidas. También fue necesario garantizar que la etapa de potencia en total fuese capaz de entregar 500mA 3.1 de forma tal que se pudiese alimentar a todos los actuadores cuando requieran la máxima intensidad y a la electrónica de la etapa de potencia

3. ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN DE LA INTERFAZ VIBROTÁCTIL

$$IntensidadMax = 6x(IntensidadActuadores) + IntensidadArduino = 500mA \quad (3.1)$$

3.2.4. Indicador de nivel de voltaje

Fue necesario el desarrollo de una tarjeta de circuito impreso que indicara cuando el dispositivo se encuentra encendido y si el nivel de la batería se encuentra muy bajo lo que impediría que el dispositivo funcionara correctamente. A continuación se presenta la tarjeta desarrollada 3.11.

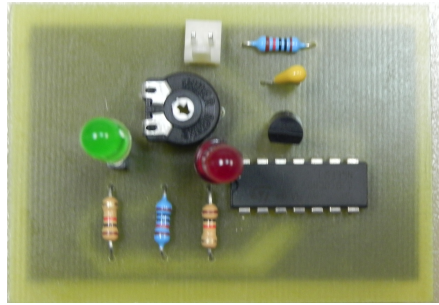


Figura 3.11: Tarjeta nivel de voltaje - Indicador de voltaje bajo

En el mismo se utilizó un comparador operacional LM339, una referencia de voltaje LP2950cz-3.3 de la cual se obtiene un voltaje fijo de 3.3V, reistencias de precisión de $10k\Omega$ y una resistencia ajustable. El funcionamiento del circuito es muy sencillo, se mide el voltaje de la batería con el uso de un circuito divisor de tensión, cuando el voltaje en el comparador medido desde la batería cae por debajo del voltaje de referencia se activa el led rojo de advertencia.

Se ajusto el circuito divisor de tensión 3.2 de forma tal que se detecte cuando el voltaje de la batería cae por debajo de los 8V y por lo tanto la interfaz puede dejar de funcionar correctamente.

$$Res = \frac{Referencia * R1}{VbatMin - Referencia} = 7,021K\Omega \quad (3.2)$$

3.2.5. Baterías

Las baterías a ser usadas tendrían que tener cualidades que le permitieran autonomía y fuesen lo suficientemente seguras para ser llevadas por las personas que estuviesen usando la interfaz.

Para la interfaz era necesario una batería cuyo voltaje nominal estuviese entre 9 y 12 voltios y pudiese entregar picos máximos de intensidad sobre los 4 Amps y que la misma pudiera mantenerse durante largos períodos de tiempo, también era muy deseable que las mismas fueran livianas para que las mismas no implicaran peso extra en la interfaz vibrotáctil de sustitución sensorial.

Como primera opción se tenía las baterías de litio-polimero LiPo, las mismas son livianas, tienen una alta capacidad y son capaces de entregar picos elevados de intensidad. Pero las mismas son muy peligrosas en el caso de cortocircuito ya que pueden calentarse excesivamente lo cual pudiera causar quemaduras graves en las personas.

La otra opción manejada es de las baterías NI-MH, las mismas se pueden conectar en serie para lograr los niveles de voltajes deseados y se consiguen con facilidad empaques capaces de entregar 4000mA/h, la principal desventaja de las mismas es que no son capaces de entregar picos de intensidad muy elevados y tienen un peso mayor a las LiPo.

Debido a que las personas que usan el dispositivo se encontrarían muy cerca de las baterías y la diferencia de peso no era demasiado significativa, se procedió a escoger la batería de Ni-MH con las características mostradas en el cuadro 3.5, debido a que las mismas representan menor cantidad de peligro para el usuario y todavía genera un tiempo de autonomía relativamente alto con un peso relativamente ligero.

Característica	Descripción
Peso	520g
Capacidad	4000mA/h
Tamaño	18x5x2 cm

Cuadro 3.5: Características batería seleccionada

3. ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN DE LA INTERFAZ VIBROTÁCTIL

3.2.6. Protecciones

Es importante proteger el dispositivo contra conecciones incorrectas o malfunciones, para esto se incorporó un sistema de protección bastante simple formado por un fusible y un diodo, el fusible actuará cuando los niveles de intensidad sean muy altos lo cual es señal de un corto circuito o algún malfuncionamientos, mientras que el diodo protegerá al dispositivo contra conexiones incorrectas de la fuente de voltaje 8.8.

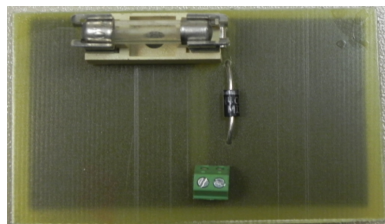


Figura 3.12: Protección dispositivo - Protección cortocircuito y conexión inversa

3.2.7. Faja con motores

Para realizar experimentos se decidio construir una faja con 72 motores distribuidos en 6 filas con 12 columnas por cada una de las filas 3.13, se busca representar un espacio de dos dimensiones mientras que la información de profundidad será representado por el nivel de vibración de los motores.

3.2.8. Módulo de transmisión inalámbrica

Para la transmisión inalámbrica de los datos se escogió usar módulos Xbee de la compañía Digi international, estos utilizan transmisión por radio-frecuencia bajo el protocolo 802.15.4-2003 diseñado para comunicaciones punto a punto o punto a multipunto con velocidades de hasta 250 Kbit/s.

Para el proyecto se decidio utilizar dos módulos Xbee, uno conectado a la interfaz y otro conectado al computador que calcula los niveles de vibración necesarios, en el cuadro 3.6 se observa la configuración utilizada para los módulos.

3.2.9. Apariencia final

Finalmente se obtuvo una interfaz de sustitución sensorial liviana, de tamaño reducido y portable, la cual permite realizar experimentos sobre la percepción humana

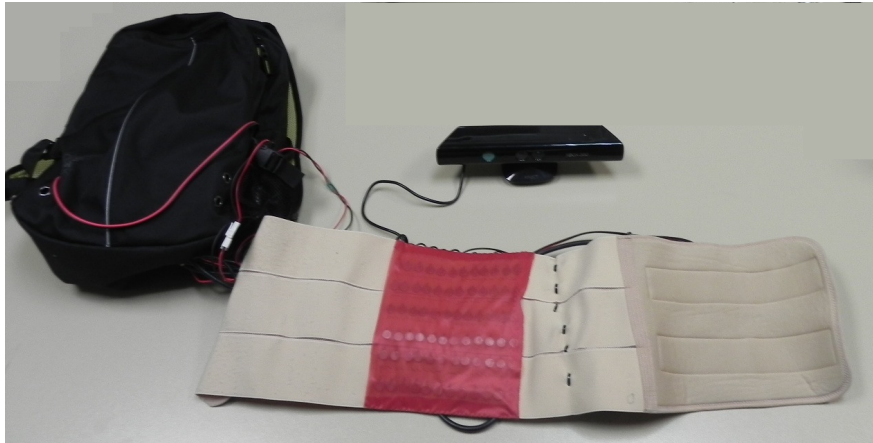


Figura 3.13: Faja con actuadores - Faja con actuadores dispuestos en 6 filas y 12 columnas

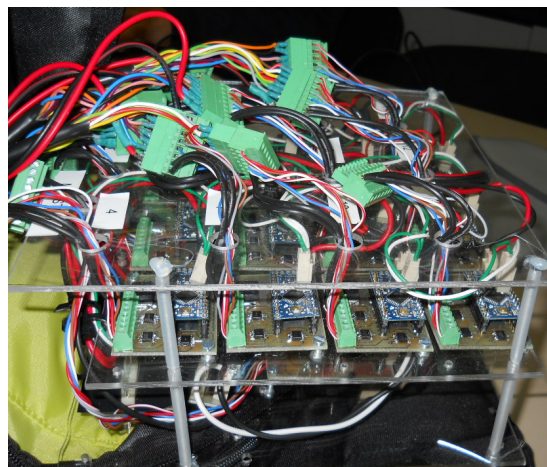
Característica	Descripción
Velocidad de transmisión	57600
Tipo de enlace	punto a punto
Modo de operación	Transparente
Id personal network	4567

Cuadro 3.6: Características principales

3. ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN DE LA INTERFAZ VIBROTÁCTIL



(a) Interfaz



(b) Etapa de potencia

Figura 3.14: Apariencia interfaz de sustitución sensorial

con individuos en movimiento. en la figura 3.14 se observa la apariencia final de la interfaz.

También es importante mostrar la características resaltantes de la interfaz, las cuales se presenta en el cuadro 3.7, hay que indicar que dichas especificaciones no incluyen la batería ni los cables necesarios para conectar a los actuadores de vibración.

3.2.10. Limitaciones

El dispositivo tiene una serie de limitaciones en las cuales se puede continuar mejorando el diseño, las cuales se presentan a continuación

Característica	Descripción
Peso	500g
Tamaño	20x20x12
Número de motores	78
Intensidad máxima	4.2 Amps
Autonomía	1 hrs (intensidad máxima)

Cuadro 3.7: Características principales

3.2.10.1. Autonomía

El consumo promedio del dispositivo llega a ser de 2A, con la batería elegida de 4A/h, se puede tener una autonomía máxima de 2 horas. Sería interesante considerar el uso de baterías en paralelo con lo cual se aumentaría la autonomía aunque también conllevaría a un aumento del peso del dispositivo.

3.2.10.2. Retardos

El dispositivo maestro recibe una trama de 10 bytes por cada grupo de 6 motores, lo que implica que se deben transmitir un total de 960 bits considerando una velocidad de transmisión de 57600 bps se obtiene un retardo de 0.008s posteriormente el dispositivo maestro debe transmitir cadenas de 8 bytes a cada uno de los dispositivos esclavos de la red I2C a una velocidad de 100kbps lo que implica un tiempo de retardo adicional de 0.0074s más el tiempo requerido por la dinámica del motor para lograr la vibración requerida se obtiene un retardo máximo de 0.025s 3.5.

$$RetardoSerie = \frac{Bytes * Dispositivos * 8}{115200} = 0,01666 \quad (3.3)$$

$$RetardoI2C = \frac{Bytes * Dispositivos * 8}{100000} = 0,0074 \quad (3.4)$$

$$RetardoTotal = RetardoSerie + RetardoI2C + dinamica = 0,025 \quad (3.5)$$

3. ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN DE LA INTERFAZ VIBROTÁCTIL

Es importante a la hora de desarrollar de sistema de tiempo real considerar el tiempo que el sistema operativo utilizado utilice para realizar el envío de la información a través del puerto seleccionado. Generalmente es necesario aumentar la prioridad del proceso de manera tal que el mismo no quede relegado por otros procesos lo que implicaría retardos adicionales y que no son constantes.

3.2.10.3. Tamaño

EL dispositivo tiene dimensiones de 20x20x12 cm más el tamaño requerido para la batería y cables, este tamaño implica la necesidad de proporcionar algún medio de transporte, que para nuestro caso fue una mochila.

4

Percepción del entorno mediante una interface táctil y cámara Microsoft Kinect

4.1. Interpretación de las señales táctiles

Uno de los posibles usos de la interfaz háptica es la de servir de ayuda a personas con deficiencias visuales, para lograr esto presentamos una solución al integrar la cámara Microsoft Kinect en el entorno de ROS. para lo mismo se desarrollaron nodos escritos en python y en C mediante los cuales se obtiene, procesa y se envía la información de las distancias de los objetos presentes en el entorno.

Al integrar la interfaz vibrotáctil con la cámara Microsoft Kinect para exploración de ambientes reales considerando que los usuarios que la utilizarán se desplazarán con una velocidad media o baja se decidió darle prioridad a los objetos ubicados en el rango de 0 a 2m de manera tal que se le da prioridad a los objetos que están cerca del usuario de la interfaz. Para ello se le asigna un mayor porcentaje de ciclo útil a las distancias ubicadas en este rango que a los objetos detectados a distancias mayores que estas 4.1 de forma tal de tener una mayor resolución y una interpretación más adecuada de los objetos cercanos al usuario.

Con la integración de la Kinect a la interfaz de sustitución sensorial se pretende realizar la exploración de entornos utilizando solamente el sentido del tacto a través de los actuadores vibrotáctiles.

4. PERCEPCIÓN DEL ENTORNO MEDIANTE UNA INTERFACE TÁCTIL Y CÁMARA MICROSOFT KINECT

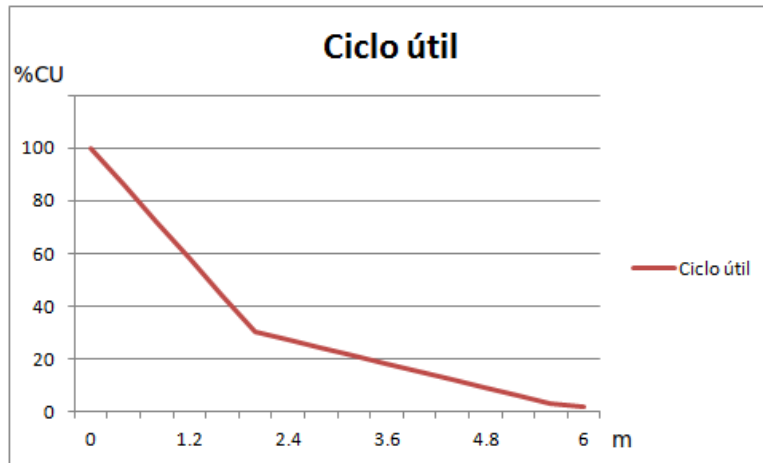


Figura 4.1: Ciclo útil vs distancia - Ciclo útil de la señal PWM de excitación vs distancia promedio del área correspondiente

4.2. Microsoft Kinect

El dispositivo Microsoft Kinect es un dispositivo de sensado de señales de video. El mismo está conformado por una cámara de video, un sensor infrarojo para medir distancias y microfones, en la figura 4.2 se puede observar la apariencia física del mismo, este dispositivo es actualmente utilizado en un sin número de proyectos de investigación en torno al área de sustitución sensorial, exploración de terrenos, generación de mapas, entre otros.



Figura 4.2: kinect - Dispositivo utilizado para obtener imagen y mapa de profundidades

Entre las características principales del kinect resaltamos que el sensor de profundidad puede obtener distancias entre 0.7-6m, el sensor posee un campo de captura de 57 grados en horizontal y 43 grados en vertical además de poseer un motor que permite cambiar el ángulo de la cámara en 27 grados, la cámara puede funcionar hasta una frecuencia de 30Hz y para el caso del audio se tiene una frecuencia de muestreo de 16kHz.

en el cuadro 4.1 resumimos todas estas características.

Característica	descripción
Campo de Captura Vertical	43 grados
Campo de Captura Horizontal	57 grados
Frecuencia cámara	30Hz
Frecuencia muestreo micrófono	16kHz
Rango medición profundidad	0.7-6m

Cuadro 4.1: Características principales de la cámara Microsoft Kinect

La principal desventaja del uso de la kinect es que su funcionamiento en exteriores no es el ideal, por lo cual su uso es válido solamente para interiores, sin embargo gracias a su bajo coste, se puede probar fácilmente el concepto y de ser necesario integrar posteriormente otro sensor con el cual se pueda trabajar en exteriores.

4.3. Integración con ROS

ROS siglas provenientes de Robot Operating System es un meta-sistema operativo de software libre, especializado para el uso con robots, el propósito del mismo es proporcionar abstracción de bajo nivel, control de dispositivos de bajo nivel, intercambiar mensajes entre procesos y manejo de paquetes, librerías y permite la ejecución de distintos paquetes en multiple computadoras. En la actualidad la comunidad científica se encuentra realizando muchos desarrollos sobre el mismo lo que ocasiona que se puedan encontrar muchas librerías que permiten el manejo de muchos dispositivos tales como el Microsoft kinect el cual es mencionado a posteriormente.

4.3.1. Funcionamiento de ROS

El funcionamiento de ROS se puede describir sencillamente como la interacción de varios procesos, en esta interacción existe un proceso maestro que es el encargado de controlar el flujo de información y los nodos que son procesos que producen o solicitan información a través de mensajes publicados en tópicos en la figura 4.4 se observa la forma en la cual se intercambian los mensajes. Los módulos que conforman ROS se explican con un poco más de detalle a continuación.

4. PERCEPCIÓN DEL ENTORNO MEDIANTE UNA INTERFACE TÁCTIL Y CÁMARA MICROSOFT KINECT

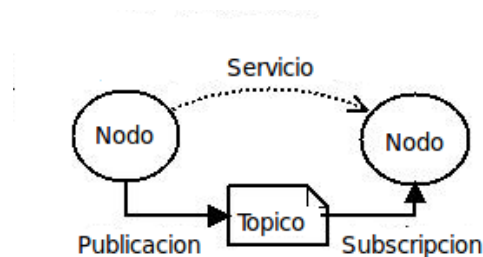


Figura 4.3: Diagrama básico de ROS - Funcionamiento de ROS

4.3.1.1. Maestro

El maestro es el nombre de 'namespace' en el cual se almacenan los datos de los tópicos y los nodos que se encuentran en ejecución, el maestro esta encargado de proveer la información necesaria a los nodos de manera que estos se puedan comunicar entre ellos para el intercambio de mensajes.

4.3.1.2. Nodo

Los nodos son procesos que realizan calculos, presentan información ó publican datos. Una de las ventajas de ROS es que esta diseñado para ser modular, un sistema de control de robots usualmente esta formado por varios nodos en los cuales cada nodo realiza una labor especifica. Por ejemplo un nodo podría estar encargado de obtener los datos de profundidad de la camara, otro nodo realizaría el procesamiento de la imagen y un nodo final estaría encargado de enviar la información necesaria al dispositivo háptico.

4.3.1.3. Tópico

Los mensajes son transmitidos mediante un sistema de publicar / suscribirse. El tópico es un nombre que describe el contenido de un mensaje. un nodo que requiere cierto tipo de información debe suscribirse al tópico apropiado y un nodo que este generando u obteniendo información debe publicar en el tópico indicado cumpliendo con la estructura del mensaje.

En general pueden existir varios nodos publicando y suscritos al mismo tópico y una de las cualidades más interesantes de ROS es que dichos nodos no tienen que conocer la

existencia de los otros y además los mismos pueden estar escritos en diferentes lenguajes de programación tales como python y C.

4.3.1.4. Servicio

El modelo de publicación y suscripción es muy flexible, pero no es apropiado para una filosofía de funcionamiento solicitud / respuesta, estos tipos de requerimientos se manejan a través de servicios. En ellos se definen estructuras de mensajes una para la solicitud y otra para la respuesta, de esta forma se provee a los nodos el nombre de un servicio el cual pueden solicitar en el momento que sea conveniente

4.3.1.5. Mensaje

Los nodos se comunican entre ellos mediante el envío de mensajes, un mensaje es simplemente una estructura de datos, en cuyos campos se encuentran datos primitivos (enteros, punto flotante entre otros) como también vectores de datos primitivos.

4.3.2. Openni kinect

Openni kinect es una librería desarrollada para ROS que permite obtener los datos de cámaras, en nuestro caso la usamos con el dispositivo Microsoft Kinect, del mismo se obtiene una matriz que relacionan los puntos en una imagen con una distancia hasta la cámara. Esta matriz es publicada en el tópico `image_raw`.

4.3.3. Python

Python es un lenguaje de programación interpretado de alto nivel que permite el desarrollo de código de programación de forma eficiente y rápida. El mismo es una simple efectiva aproximación de programación orientada a objetos lo que lo hace un lenguaje idóneo para el desarrollo de scripts.

El intérprete de python está implementado en C y C++ y puede ser extendido fácilmente usando dichos lenguajes o cualquiera que pueda ser invocado desde C.

Python está desarrollado de manera tal que puede ser utilizado fácilmente en Windows, Linux/Unix, Mac OS.

4. PERCEPCIÓN DEL ENTORNO MEDIANTE UNA INTERFACE TÁCTIL Y CÁMARA MICROSOFT KINECT

4.4. Nodo de ROS para cálculo de vibración en función de la distancia

Utilizando el lenguaje de programación python se desarrolló un nodo para procesar la información proveniente de la Microsoft Kinect.

El nodo se suscribe al tópico publicado por camera/depth/image_raw de la librería `openni_kinect` obteniendo la información de profundidad de los objetos del ambiente con respecto a la cámara, la estructura del mensaje se presenta en cuadro 4.2.

dato	descripción
Header	Descripción del mensaje
height	Número de filas
width	Número de columnas
isBigendian	información de construcción del entero
step	Número de bytes por fila
data	Información de profundidad

Cuadro 4.2: Mensaje `openni`

En la información de profundidad se obtiene una matriz de 640x480 puntos en milímetros, debido a que solo se disponen de 72 motores en la interfaz distribuidos en 6 filas por 12 columnas es necesario realizar un promedio de las distintas zonas en la imagen para obtener una matriz de 6x12. En la figura 4.5 se presenta una imagen en la cual se muestra la manera en la cual se dividen las zonas para calcular la distancia promedio. Estas distancias son escaladas a números entre 0-255 en los cuales se indica la vibración de cada motor, siendo 255 la vibración máxima y 0 la vibración mínima.

Finalmente se envía la información de vibración a través del dispositivo XBee que se encuentra conectado en uno de los puertos USB del computador

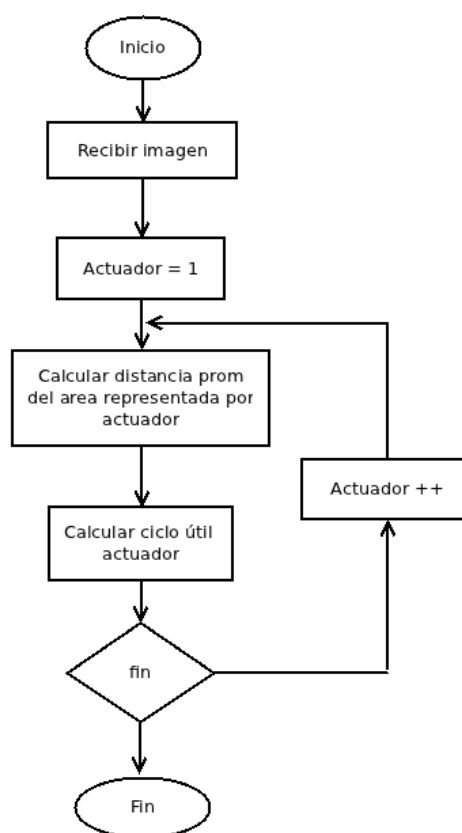


Figura 4.4: Cálculo de vibración de los actuadores - Diagrama de flujo para el cálculo de la vibración de los actuadores vibrotáctiles

4. PERCEPCIÓN DEL ENTORNO MEDIANTE UNA INTERFACE TÁCTIL Y CÁMARA MICROSOFT KINECT

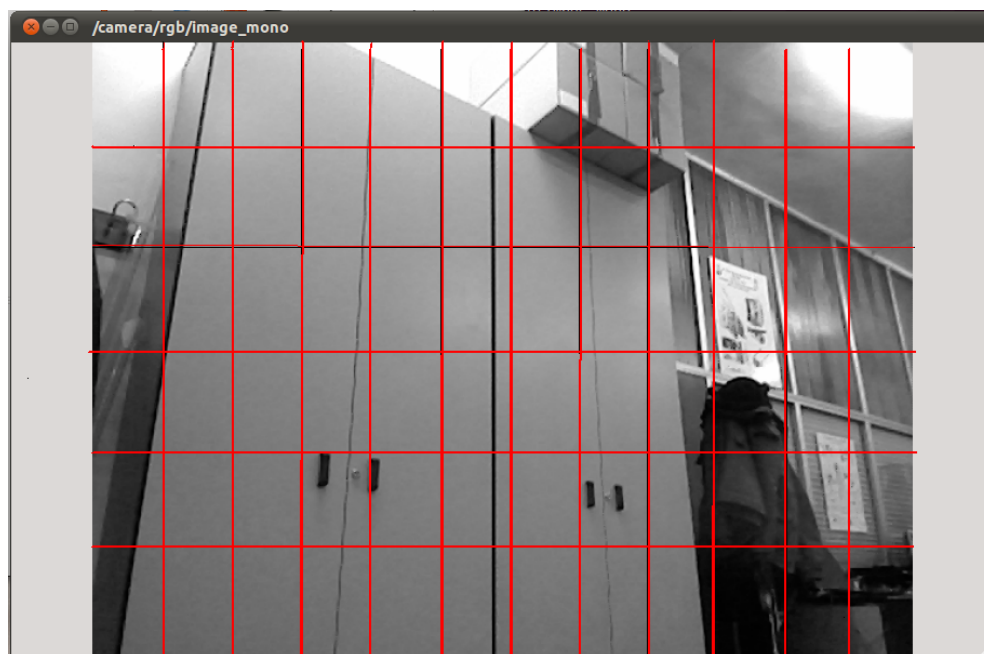


Figura 4.5: División para promedio de distancias - División de areas para cálculo del promedio

5

Utilización de la interfaz de sustitución sensorial para el estudio de tiempo de contacto y otros entornos usando Matlab

5.1. Tiempo de contacto

El tiempo de contacto se define cómo el tiempo que resta hasta que un observador y un objeto o superficie entren en contacto si las velocidades de los mismos se mantienen. Una de las variables que define el tiempo de contacto y que han sido mayormente es la variable τ la misma relaciona el tamaño que ocupa un objeto en el campo visual de una persona θ y la tasa de cambio del tamaño del mismo $\dot{\theta}$ con el tiempo de contacto, ver ecuacion 5.1, estas variables son las utilizadas de forma natural por las personas para calcular el momento de impacto con los objetos.

$$\tau = \frac{\theta}{\dot{\theta}} \quad (5.1)$$

Se puede justificar el uso de estas variables debido a que físicamente no tenemos acceso directo a información de velocidad y distancia de los objetos, para determinar el tiempo de contacto nuestro cerebro se aprovecha de que los objetos a medida que se encuentra más cerca del observador ocupan un mayor tamaño en el campo visual y la tasa de crecimiento del tamaño aumenta, ver figura 5.1

5. UTILIZACIÓN DE LA INTERFAZ DE SUSTITUCIÓN SENSORIAL PARA EL ESTUDIO DE TIEMPO DE CONTACTO Y OTROS ENTORNOS USANDO MATLAB

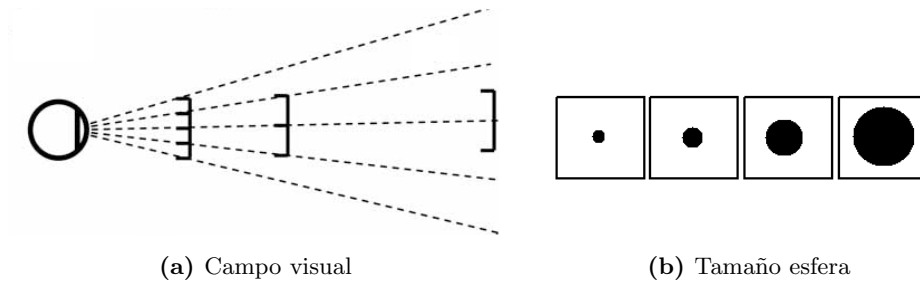


Figura 5.1: Esfera acercandose a un observador

5.2. Desarrollo del experimento con MATLAB

Con el presente experimento se pretende determinar si se puede establecer una relación entre el tiempo de contacto y el flujo vibrotáctil, es decir, determinar si el flujo vibrotáctil es una herramienta adecuada para estimar el momento de impacto de un objeto.

Para el desarrollo del experimento se desarrollo un programa en Matlab utilizando la toolbox Psychtoolbox, en el cual se simulaba una esfera acercandose con velocidades que variaban entre 0.37m/s y 0.55m/s la esfera simulada tiene 20cm de radio y sus lineas visuales son proyectadas en una pantalla colocadas a 60cm del observador, ver 5.2, De las cuales se puede deducir el ángulo θ con el cual se calcula el ángulo de proyección sobre la pantalla de la siguiente forma que se expresan en las ecuaciones 5.2, 5.3.

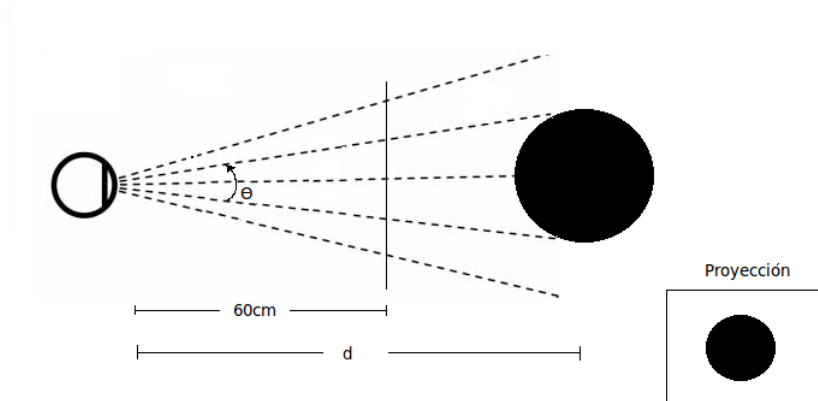


Figura 5.2: Simulación Objeto acercandos - Características de la simulación

5.2 Desarrollo del experimento con MATLAB

$$\theta = 2 * \arcsin\left(\frac{r}{d}\right) \quad (5.2)$$

$$radioProyeccion = 60 * \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (5.3)$$

Se establecio una relación entre el tamaño que ocupa la proyección de la esfera en el campo visual y la faja de 6 filas por 12 columnas con las que se desea realizar la sustitución sensorial, de forma tal que los actuadores vibrotáctiles se activen de acuerdo al patrón que se obtendría de ser captada la información a través del sentido de la vista. Para la activación de los actuadores se calcula la circunferencia de la proyección de la esfera sobre la pantalla que estará ubicada a 60cm del observador y se activan los actuadores cuyo centro este dentro de la circunferencia proyectada.

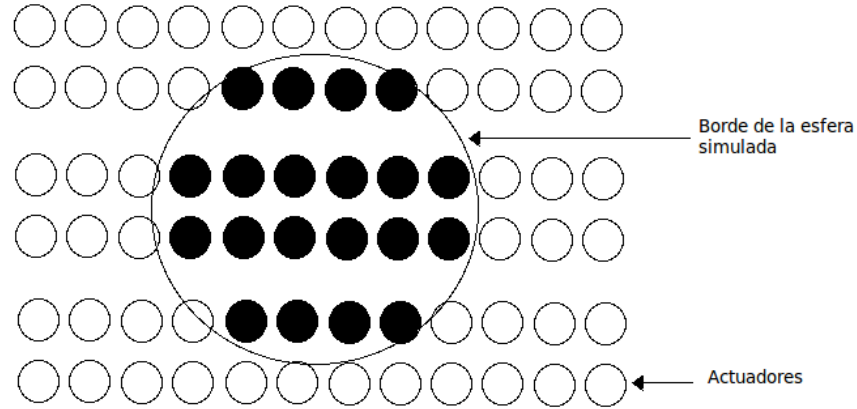


Figura 5.3: Activación de actuadores - Activación de los actuadores con respecto a la proyección de la esfera acercandose

Debido a que el objetivo principal del experimento es determinar si el flujo vibrotáctil genera suficiente información para determinar el tiempo de contacto los actuadores son activados con filosofía todo o nada, si la proyeccion de la esfera no cubre el motor el mismo se encuentra apagado y si está dentro se le asigna la vibración máxima 5.3.

Al acercarse el objeto se tendrá una sensación de expansión de las señales táctiles y la hipótesis es que gracias al porcentaje que ocupan las vibraciones en la piel y la

5. UTILIZACIÓN DE LA INTERFAZ DE SUSTITUCIÓN SENSORIAL PARA EL ESTUDIO DE TIEMPO DE CONTACTO Y OTROS ENTORNOS USANDO MATLAB

rápidez con la que se expanden intuimos que las personas serán capaces de calcular el tiempo de contacto.

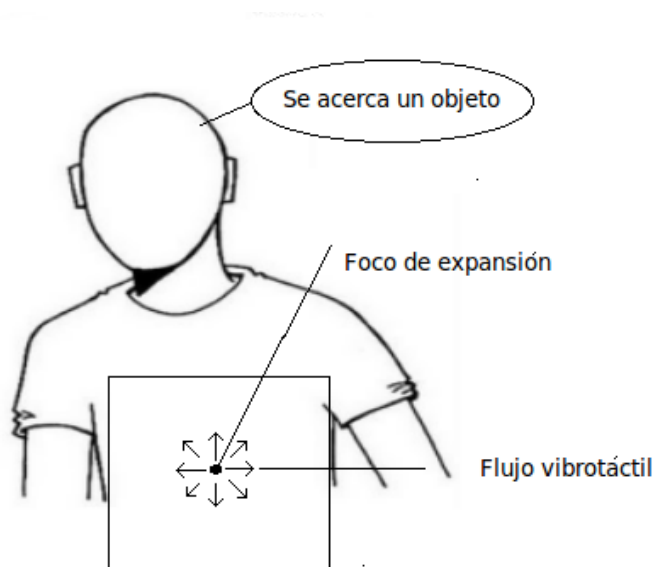


Figura 5.4: Flujo vibrotáctil - Flujo vibrotáctil para la determinación del ttc

En la figura 5.4 se muestra el concepto del flujo vibrotáctil de una esfera acercándose, se resalta la presencia del foco de expansión con la cual se podría determinar el centro del objeto y los vectores de expansión del flujo vibrotáctil cuya magnitud darán información al usuario de la velocidad del objeto que se acerca y el objetivo final que sería que el individuo perciba al objeto acercándose basado en el flujo vibrotáctil.

5.3. Desarrollo del experimento para el cálculo del tiempo de contacto en el mundo real

Para este experimento se utilizó la cámara Microsoft Kinect cuya integración se explico en el capítulo anterior, se preparó un péndulo con un globo de manera tal de poder controlar y hacer repetible el acto de lanzar el globo a los participantes 5.5, El tiempo de recorrido hasta el punto de contacto era de aproximadamente 1.5s

El objetivo nuevamente es comprobar que el flujo vibrotáctil puede transmitir información que permita determinar el momento en el cual un objeto impactará un objeto con una persona, pero esta vez usando información del mundo real.

5.3 Desarrollo del experimento para el cálculo del tiempo de contacto en el mundo real

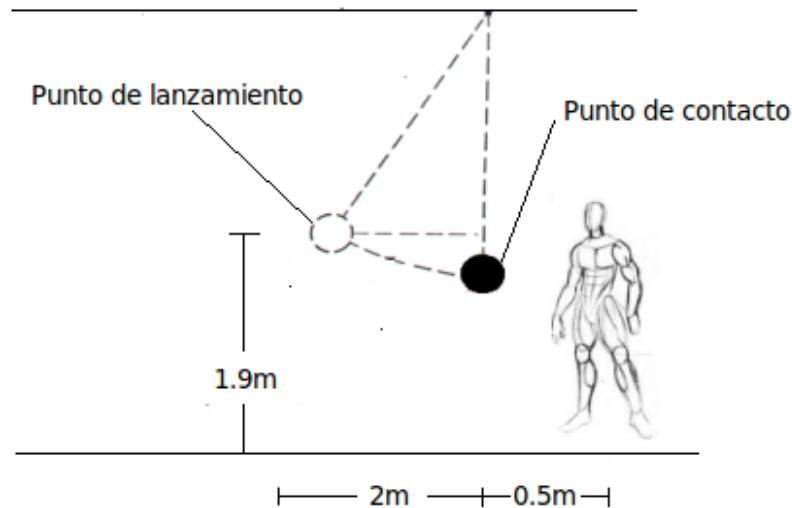


Figura 5.5: Tiempo de contacto-kienct - Cálculo del tiempo de contacto utilizando la interfaz y la cámara Microsoft Kinect

La segunda parte del experimento consistía en colocar la cámara en la trayectoria del globo, mientras que el individuo en prueba era apartado. El globo era lanzado y la persona tenía que presionar un pulsador indicando el momento en el cual percibiera el impacto, el globo estaba siendo supervisado visualmente por el experimentador y este presionaba otro pulsador al momento del contacto. El propósito del experimento es el de medir el desfase que se obtenía con el dispositivo de sustitución sensorial y eliminar posibles influencias externas 5.6.

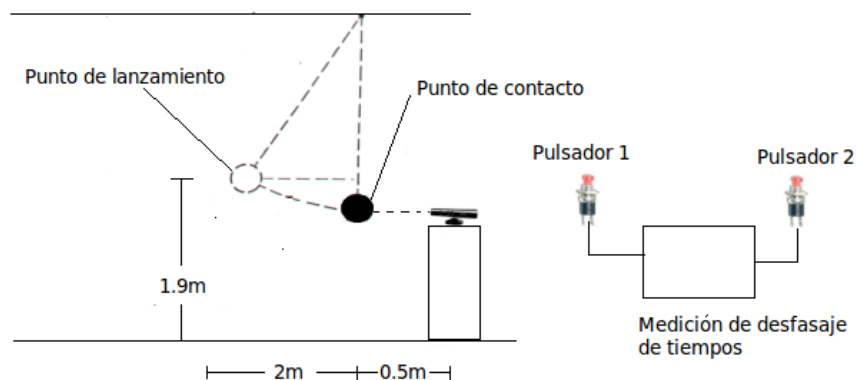


Figura 5.6: Tiempo de contacto-kienct 1 - Cálculo del tiempo de contacto utilizando la interfaz y la cámara Microsoft Kinect con la persona apartada

5. UTILIZACIÓN DE LA INTERFAZ DE SUSTITUCIÓN SENSORIAL PARA EL ESTUDIO DE TIEMPO DE CONTACTO Y OTROS ENTORNOS USANDO MATLAB

5.4. Simulación de escalones y obstáculos verticales

El dispositivo de sustitución sensorial puede ser utilizado para en cualquiera de los experimentos realizados con anterioridad por el grupo de percepción y acción del departamento de psicología de la UAM, específicamente los experimentos de percepción de obstáculos, verticales y horizontales mediante el uso de los actuadores táctiles, solo es necesario habilitar el envío correspondiente de los actuadores a activar sin la necesidad de modificar el código realizado para el mismo de una manera significativa.

5.5. Integración con MATLAB

Matlab es un lenguaje de computación técnica de alto nivel y un entorno interactivo para desarrollo de algoritmos, visualización de datos, análisis de datos y cálculo numérico.

En la actualidad este lenguaje es usado en una amplia gama de aplicaciones que incluyen procesamiento de señales e imágenes, comunicaciones, diseño de sistemas de control, sistemas de prueba y medición, modelado y análisis financiero y biología computacional.

Además, Matlab contiene una serie de funciones para documentar y compartir su trabajo. Lo que permite un intercambio de información y ocasiona una ampliación de las capacidades del mismo.

Este programa a sido utilizado por el departamento de psicología en el grupo de percepción para el desarrollo de ambientes virtuales para casos de objetos acercandose y simulación de objetos tales cómo escalones.

5.5.1. Psychtoolbox

Psyctoolbox es un paquete de software que esta orientado a realizar experimentos psicológicos con la ayuda de un lenguaje de alto nivel tal cómo lo es Matlab, con el mismo se puede tener fácil control de la pantalla y perifericos de la PC además de poseer varios experimentos psicológicos clásicos desarrollados.

Lo más interesante del desarrollo con esta herramienta es que se está creando una comunidad en la cual se desarrollan experimentos y se comparten lo que da lugar a un

intercambio de información mucho más fácil y generación de avances en el estudio de la percepción humana.

Este software es utilizado por el grupo de percepción y acción de la universidad autonoma de madrid y es por esto que se busca la integración del dispositivo táctil desarrollado con el entorno de trabajo en Matlab.

5.5.2. Funciones de envío serial

Para integrar el dispositivo háptico con Matlab fue necesario desarrollar una función que reciba una matriz de 12 filas y 6 columnas con la información de nivel de vibración de cada uno de los motores y transmitirla a través del puerto serie, la función debe separa la información para cada uno de los elementos del dispositivo y da el formato necesario a la trama serial para el envío 5.7.

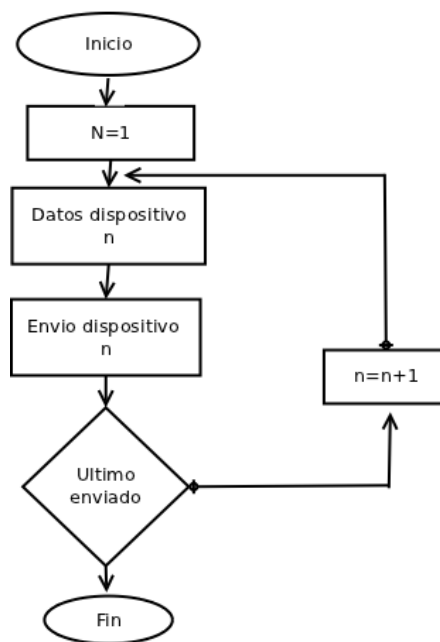


Figura 5.7: Envío serial MATLAB - Estructura de envío serial a través de MATLAB hacia la interfaz háptica

5.5.3. QUALISYS

El sistema Qualisys es un sistema de cámaras el cual permite realizar el seguimiento preciso de marcadores conectados a puntos en los cuales se considera necesario realizar

5. UTILIZACIÓN DE LA INTERFAZ DE SUSTITUCIÓN SENSORIAL PARA EL ESTUDIO DE TIEMPO DE CONTACTO Y OTROS ENTORNOS USANDO MATLAB

un seguimiento. Para realizar el calculo de la ubicación de los puntos en el espacio el sistema debe ser calibrado para generar una cuadrilla y a partir de la imagen obtenida por cada una de las cámaras y la ubicación relativa entre ellas se puede determinar en que punto del espacio se encuentra el objeto. El mismo es utilizado para determinar la posición del individuo en los ambientes virtuales desarrollados por el grupo de percepción y acción de la UAM



Figura 5.8: Sistema Qualisys - Sistema multicámaras de Qualisys

6

Pruebas y resultados

6.1. Experimentos realizados

Se realizaron tres experimentos para comprobar el correcto funcionamiento del dispositivo de sustitución sensorial, estudiar la forma en la cual el ser humano calcula el tiempo de contacto con el mismo y exploración de ambientes reales.

6.1.1. Simulación objeto acercandose

En este experimento consideraremos que la faja diseñada con 6 filas por 12 columnas representa un espacio bi-dimensional homólogo al campo visual, y la información de profundidad viene dada por la vibración de los actuadores.

Para este caso se desarrolló un programa en Matlab en el cual se puede ajustar la distancia inicial y la velocidad a la cual se acerca una esfera, en el mismo se calcula el tamaño que la misma ocuparía en el campo visual de la persona, posteriormente se determina si el tamaño de la esfera alcanza el área representada por los actuadores vibrotáctiles y de ser así el actuador correspondiente vibrará indicando que existe un objeto que ocupa dicho espacio.

Con este experimento se pretende determinar cuales son las variables que son utilizadas por el ser humano para determinar el tiempo de contacto así como la validez de el uso de señales táctiles para determinar el tiempo de contacto.

6. PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1.1.1. Entrenamiento

En esta etapa se presentaron simulaciones de la esfera acercándose mientras estaban activas las señales visuales y táctiles, se indicaba el momento en el cual la esfera haría contacto con la persona a través de tres medios, en el visual la pantalla se colocaban todos los píxeles de color negro, en el táctil todos los actuadores se encuentran vibrando y además se emite una señal audible indicando el momento de contacto.

En total se realizaron 12 ensayos de entrenamiento, en los primeros 4 se presentaban estímulos visuales, y táctiles y el individuo solamente debe percibir el momento de contacto a través de la simulación, la interfaz y la señal audible, para los ensayos 5 hasta el 8, el usuario debe predecir el tiempo de contacto y desde el ensayo 9 hasta el 12 el sujeto en prueba además de predecir el tiempo de contacto se le daba realimentación al participante en la cual se indicaba el tiempo de contacto real.

En esta etapa se pretende que el individuo en prueba se familiarice con el uso de la interfaz y logre comprender el ambiente simulado de una mejor manera.

6.1.1.2. Ensayos

Cada experimento consta de un total 25 ensayos para tres condiciones distintas a saber, estímulos visuales (v), estímulos vibrotáctiles (t) y ambos estímulos presentes (vt), en los mismos se varía el tamaño inicial y velocidad de la esfera de forma tal que que se pueda determinar cuales son las variables que son utilizadas para calcular el tiempo de contacto.

En cada uno de los ensayos se simula una esfera acercándose a cierta velocidad y partiendo de una distancia diferente, en cierto momento se oculta la información mediante la cual se representa la esfera y el individuo debe predecir el momento en la cual la esfera haría contacto con él.

Se realizaron los 25 ensayos bajo las tres condiciones, en el orden en cual se presenta en el cuadro 6.1.

6.1.1.3. Resultados

Como primer estudio se promediaron el tiempo de contacto estimado para cada uno de los ensayos y se comparó con el tiempo de contacto real, en la gráfica 6.2 se muestra el promedio del tiempo de contacto calculado para cada una de las condiciones, en la

6.1 Experimentos realizados

Participante	1era condición	2da Condición	3era Condición
1	vt	v	t
2	t	v	vt
3	vt	t	v
4	t	vt	v
5	v	vt	t
6	v	t	vt
7	vt	v	t
8	t	v	vt
9	vt	t	v
10	t	vt	v
11	v	vt	t
12	v	t	vt

Cuadro 6.1: Orden en el cual se realizaron cada una de las condiciones; v (visual), t(táctil), vt(Visual-táctil)

misma se puede apreciar como la mejor estimación ocurre bajo la condición de estímulos táctiles y visuales presentes, es decir que la información extra entregada a través del sentido del tacto ayuda a realizar una mejor interpretación del entorno. Por otro lado se observa que al utilizar solamente la estimulación táctil se obtuvieron respuestas un poco deficientes para tiempos de contacto bajos menores a 0.3s, lo que implica la necesidad de entrenamiento o deficiencias percibidas en la estimación de tiempo de contacto de objetos que se acercan muy rápido.

Condición	Correlación
Vibrotáctil	0.9362
Visual	0.9711
Visual-vibrotáctil	0.9779

Cuadro 6.2: Correlación obtenida bajo cada una de las condiciones del ensayo

Los resultados muestran una correlación muy alta entre el tiempo de contacto estimado y el tiempo de contacto real, Este nivel nos permite asegurar que los estímulos vibrotáctiles si son útiles para determinar el tiempo de contacto.

Se quería comprobar si existía una diferencia notable en las respuestas dependiendo

6. PRUEBAS Y RESULTADOS

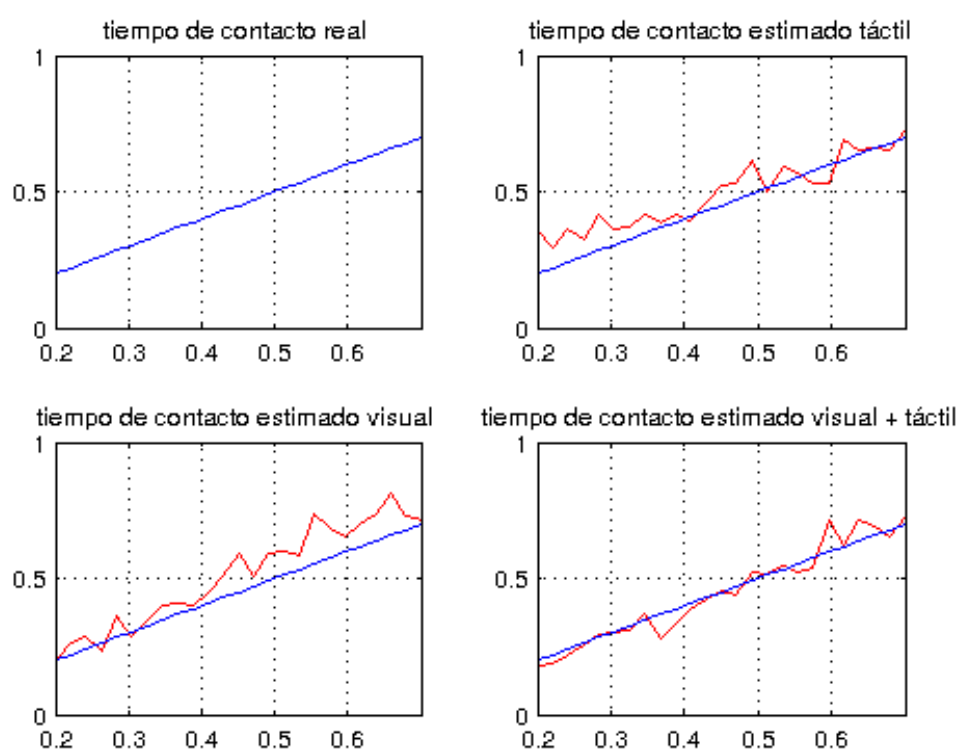


Figura 6.1: Tiempo de contacto estimado - Tiempo de contacto estimado promedio para cada condición

6.1 Experimentos realizados

del orden en el cual fue realizado el ensayo vibrotáctil, ya sea primero, segundo o tercero y mediante la gráfica se observa que aunque para el caso de ser realizado primero el ensayo vibrotáctil se obtienen resultados de estimación con un error un poco mayor, aunque las diferencias son muy bajas y pueden ser atribuidas al entrenamiento.

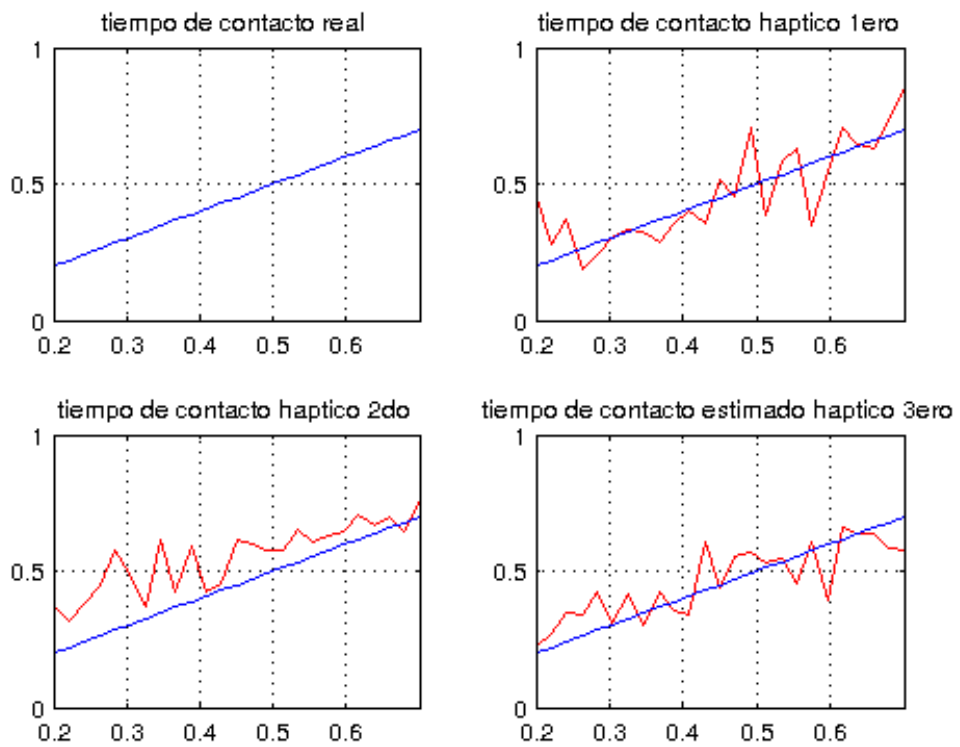


Figura 6.2: Tiempo de contacto estimado vibrotáctil - Tiempo de contacto estimado promedio para la condición vibrotáctil dependiendo del orden en el cual fue efectuada la condición

6.1.2. Estimación del tiempo de contacto con la kinect

Con este ensayo se pretende comprobar la validez de la estimación del tiempo de contacto en el mundo real, de esta forma determinar que el uso del dispositivo de sustitución sensorial en conjunto con la cámara Microsoft Kinect generan información útil para determinar la forma en la cual los objetos se acercan.

6. PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1.2.1. Entrenamiento

El entrenamiento se dividía en dos etapas, en la primera el individuo debía explorar el ambiente en el cual se encontraba, paredes, obstáculos y movimientos de personas alrededor durante 5min de manera tal que el mismo se acostumbrase al funcionamiento del dispositivo de sustitución sensorial.

Posteriormente se lanzaba 10 veces el globo a la persona en los primeros 5 intentos a la persona se le permitía utilizar el sentido de la vista, mientras que en los últimos 5 se le impedía la utilización del mismo.

6.1.2.2. Descripción del ensayo

Para este experimento se utilizó un globo inflable de 40cm de diámetro y se le lanzaba el mismo a una persona que estuviera usando la interfaz vibrotáctil, el individuo tendría que calcular el momento en el cual el globo llegaría e intentar golpearla solamente usando los estímulos táctiles en la piel sin poder usar el sentido de la vista. El individuo tendría los brazos junto al cuerpo y solo los movía para desviar el globo al momento de percibir el momento de la colisión el globo era lanzado desde una distancia de 2 metros con velocidades bajas, la disposición de los elementos en la prueba se muestran en la imagen 6.3.

6.1.2.3. Resultados

En el cuadro 6.3 se muestran los resultados que se obtuvieron en el experimento demarcando como acierto si el participante era capaz de desviar el globo a tiempo, un poco adelantado si el participante empezó el movimiento antes de lo debido (+), si el participante realizó el movimiento un poco después(-), si el participante fue alcanzado sin iniciar el movimiento (- -) y si el participante realizó el movimiento con mucha anticipación (++).

En promedio se tuvo 8 aciertos en la estimación del momento de contacto del globo y para los fallos se trataba de inicio del movimiento un poco tarde o un poco adelantado, no se llegó a notar que los individuos fallaran completamente en algunos de las pruebas, es decir, que el globo golpeara sin que la persona haya comenzado el movimiento o que haya intentado golpear el globo sin el mismo cerca.

6.1 Experimentos realizados



Figura 6.3: Ensayo estimación del tiempo de contacto - Uso de la kinect para estimar el tiempo de contacto

Participante	Aciertos	tipo de fallo
1	7	(+) (+) (-)
2	8	(+) (-)
3	7	(-)(-)(-)
4	7	(-)(-)(-)
5	7	(-)(-)(+)
6	8	(-)(+)
7	7	(-)(+)(-)
8	7	(-)(-)(-)
9	8	(+)(+)
10	8	(-)(+)

Cuadro 6.3: Adelantado (++), un poco adelantado(+), un poco retrasado (-) y retrasado (- -)

6. PRUEBAS Y RESULTADOS

Para tener una medida cualitativa del tiempo de desfase entre la percepción del globo y el verdadero tiempo de contacto se realizó un experimento en el cual la cámara no era llevada por el participante, si no, puesta en la trayectoria del globo el participante tenía un pulsador el cual debía presionar al momento de percibir el posible impacto, por otro lado una persona observaba visualmente el momento en el cual el globo llegaba al punto de impacto y presionaba otro pulsador, se medía la diferencia entre las pulsaciones y los resultados se muestran en el cuadro 6.4.

Participante	Ensayos									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.154	0.213	0.082	0.014	0.076	0.224	0.200	0.207	0.068	0.127
2	0.074	0.200	0.275	0.085	-0.383	-0.077	0.086	-0.120	-0.049	0.030
3	0.420	0.227	-0.048	0.041	-0.103	0.135	-0.012	0.191	-0.095	0.250
4	-0.078	-0.155	-0.182	-0.215	0.213	0.191	0.159	-0.204	0.108	-0.112
5	-0.310	0.122	0.255	0.039	-0.137	0.151	0.014	-0.249	-0.063	-0.037

Cuadro 6.4: Tiempo de desfase en la percepción del globo

El tiempo medio de desfase fue de 0.045s lo que es un tiempo considerablemente bajo considerando los posibles errores de mediciones, lo que implica que variables externas como el flujo de aire del globo no afecta en la percepción del tiempo de contacto.

6.1.3. Recorrido de un pasillo con la kinect

Cómo experimento final se procedió al uso de la cámara kinect para realizar la exploración de un ambiente real con obstáculos, en el mismo se estableció un recorrido a lo largo de un pasillo el cual el individuo en prueba debería atravesar, en el experimento el individuo tendría los ojos vendados lo que impediría que el mismo utilizara el sentido de la vista para completar el mismo y las manos deberían estar pegadas al cuerpo para evitar que fuesen usadas para percibir el entorno 6.4.

El lugar de la prueba consistía en un pasillo de 8 metros de largo en el cual se encontraban tres obstáculos, los participantes debían indicar si se encontraban con un obstáculo de frente. En el experimento se contabilizaban si el individuo era capaz de finalizar el recorrido e identificar los obstáculos junto con el tiempo utilizado.



Figura 6.4: interfaz en ambientes reales - Recorrido de un pasillo usando la interfaz de sustitución sensorial

6. PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1.3.1. Entrenamiento

Para este caso los individuos bajo prueba podían realizar la exploración del pasillo con la interfaz vibrotáctil y el sentido de la vista durante 5min de forma tal que el mismo se acostumbrara al funcionamiento de la misma.

6.1.3.2. Resultados

Participante	Tiempo	Obstáculos detectados	choques
1	1min 54s	3	0
2	2min 53s	3	1
3	1min 10s	2	0
4	1min 30s	3	0
5	1min 17s	2	1
6	1min 47s	2	1
7	2min 34s	3	1
8	3min 15s	3	1
9	1min 37s	3	2
10	1 min 48s	3	1

Cuadro 6.5: Resultados experimento de recorrido de un pasillo usando el dispositivo retina táctil

El tiempo medio de recorrido fue de 1min 58s, además las personas eran capaces de determinar cuando tenían un obstáculo al frente, los choques generalmente ocurrían con los brazos o las partes laterales del cuerpo esto es debido al poco rango horizontal de medición de la kinect (57 grados), lo que reduce la cantidad de información recibida del entorno.

7

Conclusiones, logros y trabajos futuros

7.1. Conclusiones

Durante el desarrollo de este trabajo fin de máster se han aportado algunas respuestas a la hipótesis la posibilidad de utilizar información de alto orden, como es el flujo vibrotáctil, para desenvolverse en un entorno con obstáculos reemplazando, parcialmente, al sentido de la vista.

Para ello se ha desarrollado una interfaz vibrotáctil, conformada por 78 actuadores controlados mediante una arquitectura distribuida soportada mediante ROS y conectada inalámbricamente a un ordenador de control el cual está encargado, entre otras funciones, de procesar la información recogida por una cámara 3d de tipo TOF. A su vez la interfaz puede trabajar con entornos de programación de alto nivel, tales como MATLAB, lo cual la hace versátil para trabajar con entornos virtuales.

La validez del sistema ha sido, primero evaluada en entornos virtuales, mediante experimentos controlados, tratando de evaluar las posibles influencias de otros factores como el entrenamiento o la propiocepción, para ello se realizaron experimentos con 12 participantes.

Posteriormente se ha probado el sistema en diferentes entornos reales, mediante su uso por un número de 15 sujetos.

De los resultados obtenidos podemos deducir las siguientes conclusiones:

7. CONCLUSIONES, LOGROS Y TRABAJOS FUTUROS

- Los actuadores de vibración utilizados tienen un rango de operación en el cual se puede controlar la frecuencia de oscilación en un rango relativamente amplio lo cual es idóneo para representar información del flujo vibrotáctil ya que además de presentar indicaciones del tamaño que los objetos ocupan en el espacio se puede representar información relacionada con la proximidad.
- Las etapas de potencia modulares permite que los actuadores vibrotáctiles puedan ser distribuidas a conveniencia en la piel y de esta forma aprovechar mejor las capacidades de percepción del ambiente, también la modularidad del sistema nos permitirá a futuro el desarrollo de dispositivos 'wearable', en los cuales se podrán colocar actuadores vibrotáctiles en distintas partes del cuerpo, tales como, espalda, pecho, antebrazos, tobillos, entre otras.
- El flujo vibrotáctil puede compararse con el flujo óptico y con el correcto entrenamiento y señales táctiles aplicadas en la forma idónea puede servir para presentar al usuario de una interfaz de sustitución sensorial información que le permita percibir el ambiente.
- El flujo vibrotáctil es un medio mediante el cual las personas son capaces de percibir información de alto orden, tal como es el tiempo de contacto, a través de variables, tales como, variaciones de la intensidad de vibración y cantidad de área en la cual se encuentran señales táctiles activas, rapidez de la expansión de las vibraciones, entre otras.
- ROS es una herramienta que permite realizar la integración de distintos componentes de un sistema e independizar cada uno de ellos permitiendo que cada una de las partes pueda ser desarrollada sin necesidad de tener vínculos directos con el resto, lo cual nos permite modificar el elemento sensor sin la necesidad de realizar un cambio en todo el código del proyecto.
- El uso de la interfaz de sustitución sensorial junto con la cámara Microsoft Kinect u otro sensor mediante el cual se pueda obtener información de distancia de los objetos en el entorno, permite la detección de obstáculos y puede ser utilizada para la exploración activa de ambientes tales como pasillos, salas, entre otros.

- Al utilizar un sensor con un rango reducido el campo de información disminuye y se pierde la capacidad de detectar objetos que se encuentren en los laterales del cuerpo.
- El flujo vibrotáctil es una herramienta que permite transmitir información del entorno, pero en la actualidad es muy poca con respecto a la cantidad de información que es percibida a través del sentido de la vista, recordemos que en el ojo humano existen millones de receptores y se puede distinguir colores, sombras, contrastes, etc. Mientras que en la interfaz actual solo tenemos 78 actuadores, por lo que es necesario seguir mejorando los medios de obtención y transmisión de información vibrotáctil, de forma tal que se pueda representar una mayor información.

7. CONCLUSIONES, LOGROS Y TRABAJOS FUTUROS

7.2. Logros

- Se comprobó que el flujo vibrotáctil es una herramienta con la cual se puede mejorar el tiempo de estimación del tiempo de contacto cuando es utilizado como complemento a la información visual.
- Se verificó que la información del flujo vibrotáctil, intensidad de vibración, variación de la intensidad, cantidad de área excitada, etc, son importantes en dispositivos de sustitución sensorial.
- Se comprobó la validez del uso de los estímulos vibrotáctiles para el cálculo del tiempo de contacto.
- Se utilizó la interfaz de sustitución sensorial para la exploración activa de entornos reales.
- Se logró un número importante de actuadores vibrotáctiles (78).
- Se consiguió transmitir inalámbricamente la información procesada desde el ordenador.
- Se integró la interfaz de sustitución sensorial con ROS y la cámara Microsoft kinect.

7.3. Trabajos futuros

- Desarrollo de algoritmos de lógica difusa que incluyan la velocidad de los objetos para ambientes reales, lo que implica detección y seguimiento de los mismos.
- Desarrollo de un dispositivo 'wearable', aprovechando la modularidad del sistema y ajustar los factores en un amplio espacio, ubicandolos en brazos, piernas, espalda.
- Trabajar con sensores de los cuales se pueda obtener un rango de medición mayor.
- Investigación y uso de fuentes de energía con las cuales se logre una mayor autonomía.
- Desarrollar programas de entrenamiento que permitan un mejor aprovechamiento y entendimiento de los patrones de vibración.
- Trabajar para disminuir el tamaño de las etapas de potencia.

7. CONCLUSIONES, LOGROS Y TRABAJOS FUTUROS

8

Anexos

8. ANEXOS

8.1. Dispositivo maestro la red I2C

Componentes principales del dispositivo maestro de la red I2C, PCB, esquemático y listado de partes

8.1.1. Microcontrolador

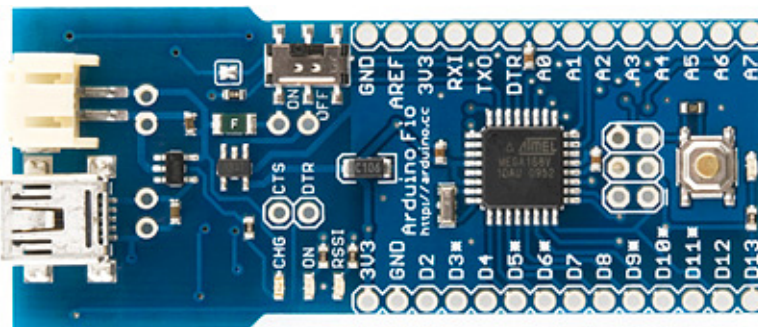


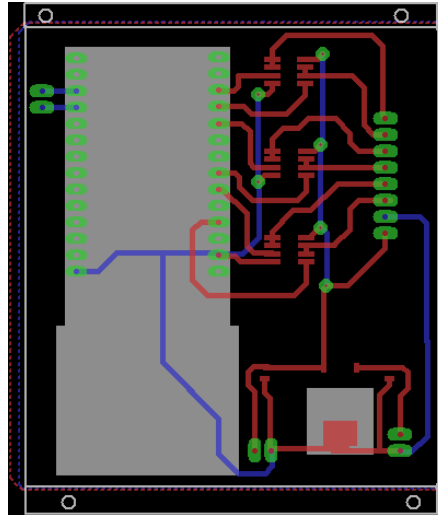
Figura 8.1: Microcontrolador Maestro - Cortesía de Arduino

8.1.2. Listado de partes dispositivo maestro

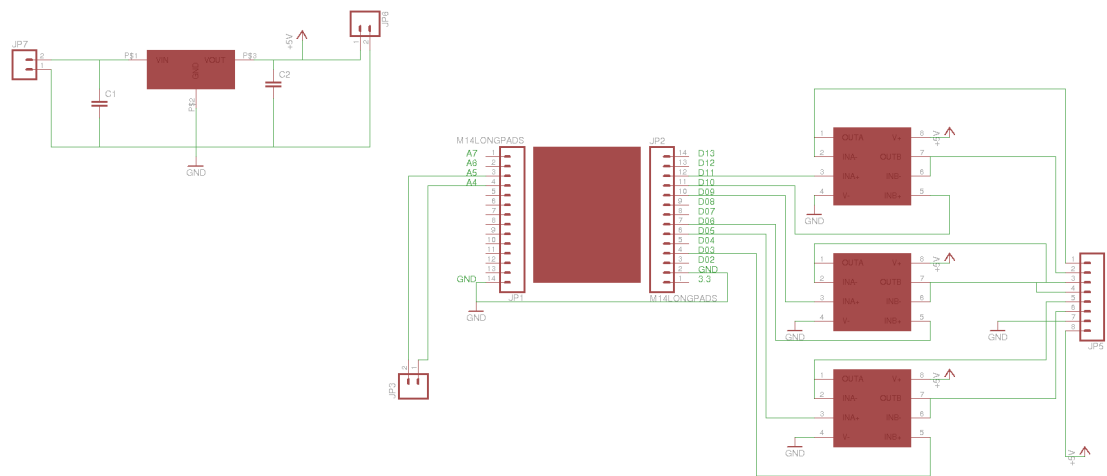
Componente	Descripción	referencia
ARduino FIO	microcontrolador	U1
LM7805	5v regulador	V1
XBee S1	Transmisor inalámbrico	U1
AD8646ARZ	Amp Op Potencia	U2, U3, U4
Bloques terminales 8	conector potencia	C3
Molex 02	Conector I2c y voltaje	C1,C2

Cuadro 8.1: Listado de los módulo maestro red I2C

8.1.3. Esquemático y PCB dispositivo maestro



(a) PCB



(b) Esquemático

Figura 8.2: Circuito maestro red I2C

8. ANEXOS

8.2. Dispositivo esclavo la red I2C

Listado de partes, esquemático, PCB y componentes importantes.

8.2.1. Microcontrolador dispositivo esclavo

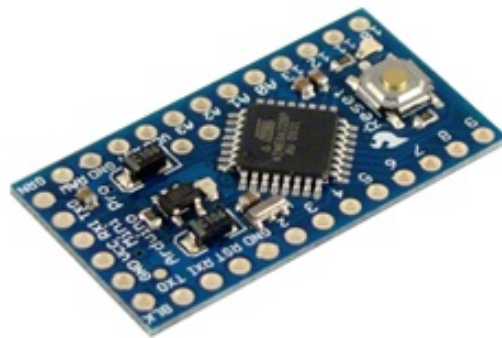


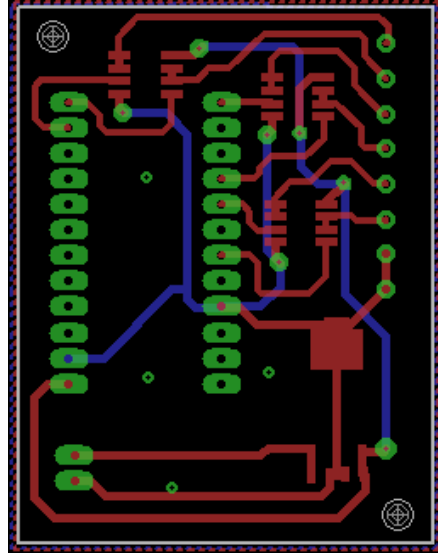
Figura 8.3: Microcontrolador esclavo - Cortesía de Arduino

8.2.2. Listado de partes dispositivos esclavos red I2C

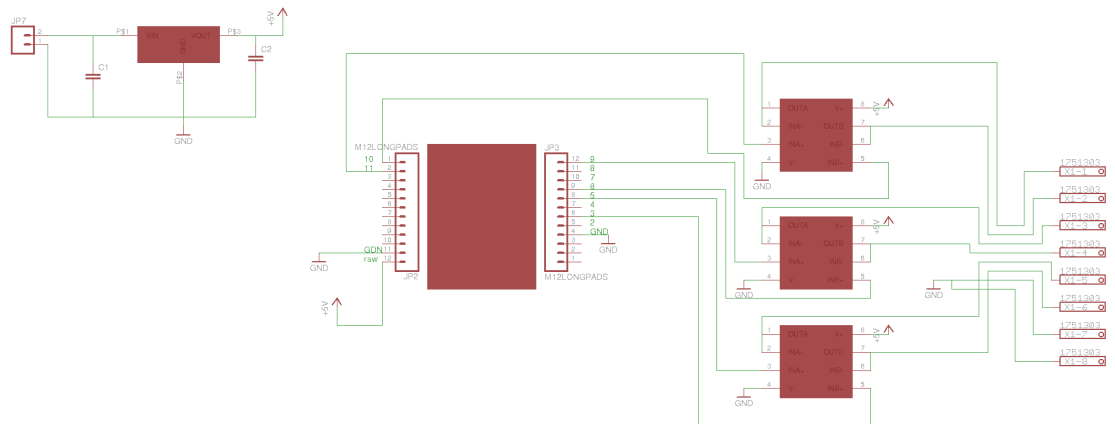
Componente	Descripción	referencia
ARduino Pro Mini	Microcontrolador	U1
LM7805	Regulador de voltaje	V1
AD8646ARZ	Amp Op Potencia	U2,U3,U4
Bloques terminales 8	conector potencia	C3
Molex 02	Conector I2c y voltaje	C1,C2

Cuadro 8.2: Listado de los módulos esclavos red I2C

8.2.3. Esquemático y PCB tarjeta dispositivo esclavo red I2C



(a) PCB



(b) Esquemático

Figura 8.4: Circuito esclavo red I2C

8. ANEXOS


8.3. Indicador de voltaje bajo y Protección

se presentan listado de partes, esquemáticos y componentes importantes de las tarjetas de indicación de voltaje y protección.

8.3.1. Listado de partes indicador de voltaje

Componente	Descripción	referencia
LM339	Comparador de voltaje	U1
Resistencias 10K 1 %	Divisor de voltaje batería	R1
Resistencia ajustable	Divisor de voltaje batería	R2
Resistencias 1K	Polarización LED	R3,R4

Cuadro 8.3: Listado de partes indicador de batería baja

March 2004

LM139/LM239/LM339/LM2901/LM3302

Low Power Low Offset Voltage Quad Comparators

General Description

The LM139 series consists of four independent precision voltage comparators with an offset voltage specification as low as 2 mV max for all four comparators. These were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage. These comparators also have a unique characteristic in that the input common-mode voltage range includes ground, even though operated from a single power supply voltage.

Application areas include limit comparators, simple analog to digital converters; pulse, squarewave and time delay generators; wide range VCO; MOS clock timers; multivibrators and high voltage digital logic gates. The LM139 series was designed to directly interface with TTL and CMOS. When operated from both plus and minus power supplies, they will directly interface with MOS logic— where the low power drain of the LM339 is a distinct advantage over standard comparators.

Features

- Wide supply voltage range
- LM139/139A Series 2 to 36 V_{DC} or ±1 to ±18 V_{DC}
- LM2901: 2 to 36 V_{DC} or ±1 to ±18 V_{DC}
- LM3302: 2 to 28 V_{DC} or ±1 to ±14 V_{DC}
- Very low supply current drain (0.8 mA) — independent of supply voltage
- Low input biasing current: 25 nA
- Low input offset current: ±5 nA
- Offset voltage: ±3 mV
- Input common-mode voltage range includes GND
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Low output saturation voltage: 250 mV at 4 mA
- Output voltage compatible with TTL, DTL, ECL, MOS and CMOS logic systems

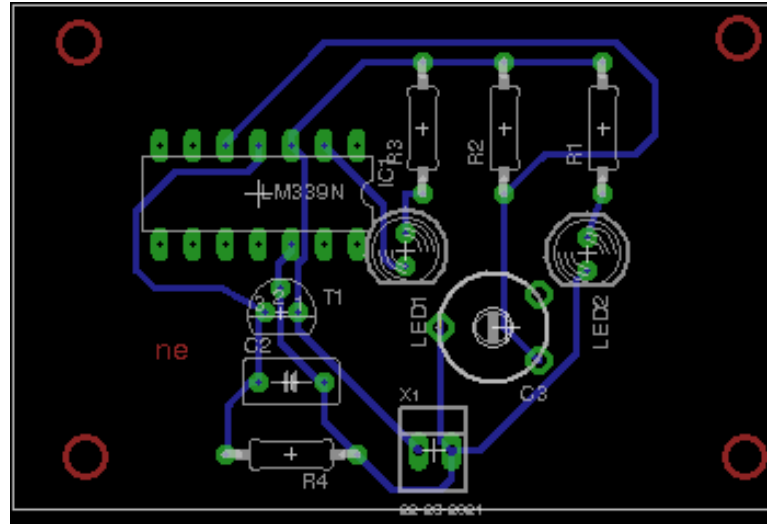
Advantages

- High precision comparators
- Reduced V_{OS} drift over temperature
- Eliminates need for dual supplies
- Allows sensing near GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

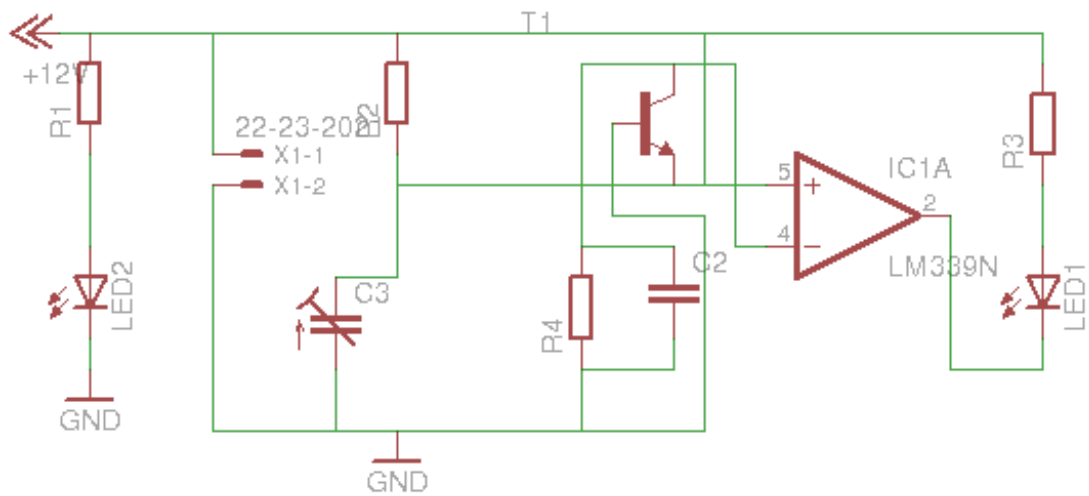
Figura 8.5: LM339 datasheet

8.3 Indicador de voltaje bajo y Protección

8.3.2. Esquemático y PCB indicador de voltaje



(a) PCB



(b) Esquemático

Figura 8.6: Circuito indicador de voltaje

8. ANEXOS

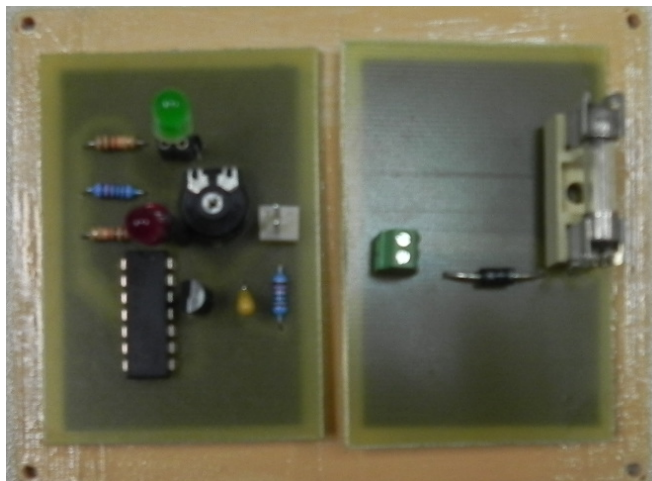


Figura 8.7: Protección-indicador de voltaje bajo - Tarjetas de protección e indicador de batería baja

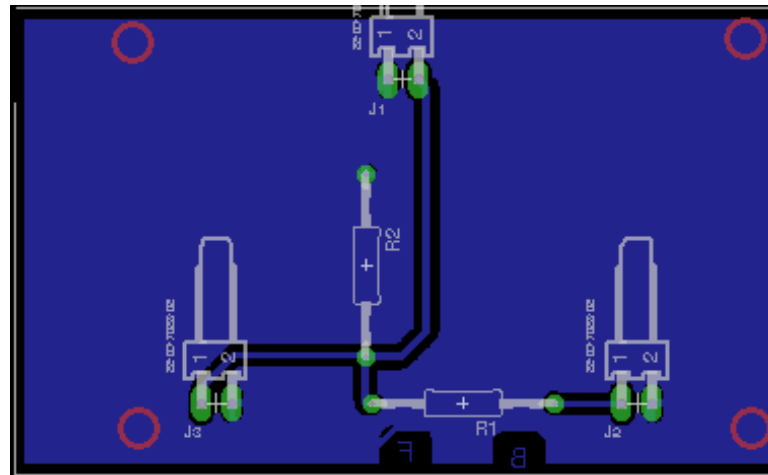
8.3.3. Listado de partes protección

Componente	Descripción	referencia
Porta fusible	Protección cortocircuito	F1
Molex 02	Conector de alimentación	C1
Diodo N4107	Protección conexión inversa	D1

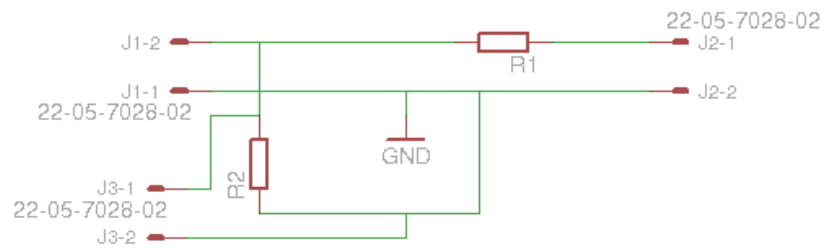
Cuadro 8.4: Listado de partes de la etapa de potencia

8.3 Indicador de voltaje bajo y Protección

8.3.4. Esquemático y PCB protección



(a) PCB



(b) Esquemático

Figura 8.8: Circuito de Protección

8. ANEXOS

8.4. Actuador



Figura 8.9: Actuador vibrotáctil - Cortesía de Solarbotics



Motor Specification

Flat Type Vibration Motor

VPM2

1. STANDARD OPERATING CONDITION

NO	ITEM	RATED CONDITION
2-1	STANDARD VOLTAGE	DC3.0V
2-2	OPERATING VOLTAGE GANGE	DC 2.5 ~ 3.5V
2-3	ROTATING DIRECTION	CW , CCW
2-4	OPERATING TEMPERATURE RANGR	-10℃ ~ +60℃
2-5	STORAGE TEMPERATURE RANGE	-30℃ ~+70℃

2. MEASURING CONDITION

NO	ITEM	RATED CONDITION
3-1	TEMPERATURE	5℃ ~35℃
3-2	HUMIDITY	35% ~75%RH
3-3	POWER SUPPLY,VOLTAGE SOURCE	DC POWER SUPPLY OR BATTERY3.0V
3-4	POSTURE OF MOTOR	STATE OF STANDARD MEASUREMENT

3. ELECTRICAL CHARACTERISTIC

NO	ITEM	UNIT	SPEC	CONDITION
4-1	STANDARD SPEED	rpm	12.000±3.000	STANDARD VOLTAGE : DC 3.0V
4-2	STANDARD CURRENT	mA	80 MAX	STANDARD VOLTAGE : DC 3.0V
4-3	MIN.STARTING VOLTAGE	V	2.3MAX	ON/OFF-1CYCLE,TTL5CYCLES UNDER DC3V
4-4	TERMINAL RESISTANCE	Ω	32 ± 20%	EACH BRUSH CONTACTS EACH POLE OF COMMUTATOR
4-5	STARTING CURRENT	mA	120MAX	MOTOR LOCKING
4-6	INSULATION RESISTANCE	MΩ	10MIN	MEASURING BETWEEN CASE AND TERMINAL.

Figura 8.10: Especificaciones actuador - Cortesía de Solarbotics

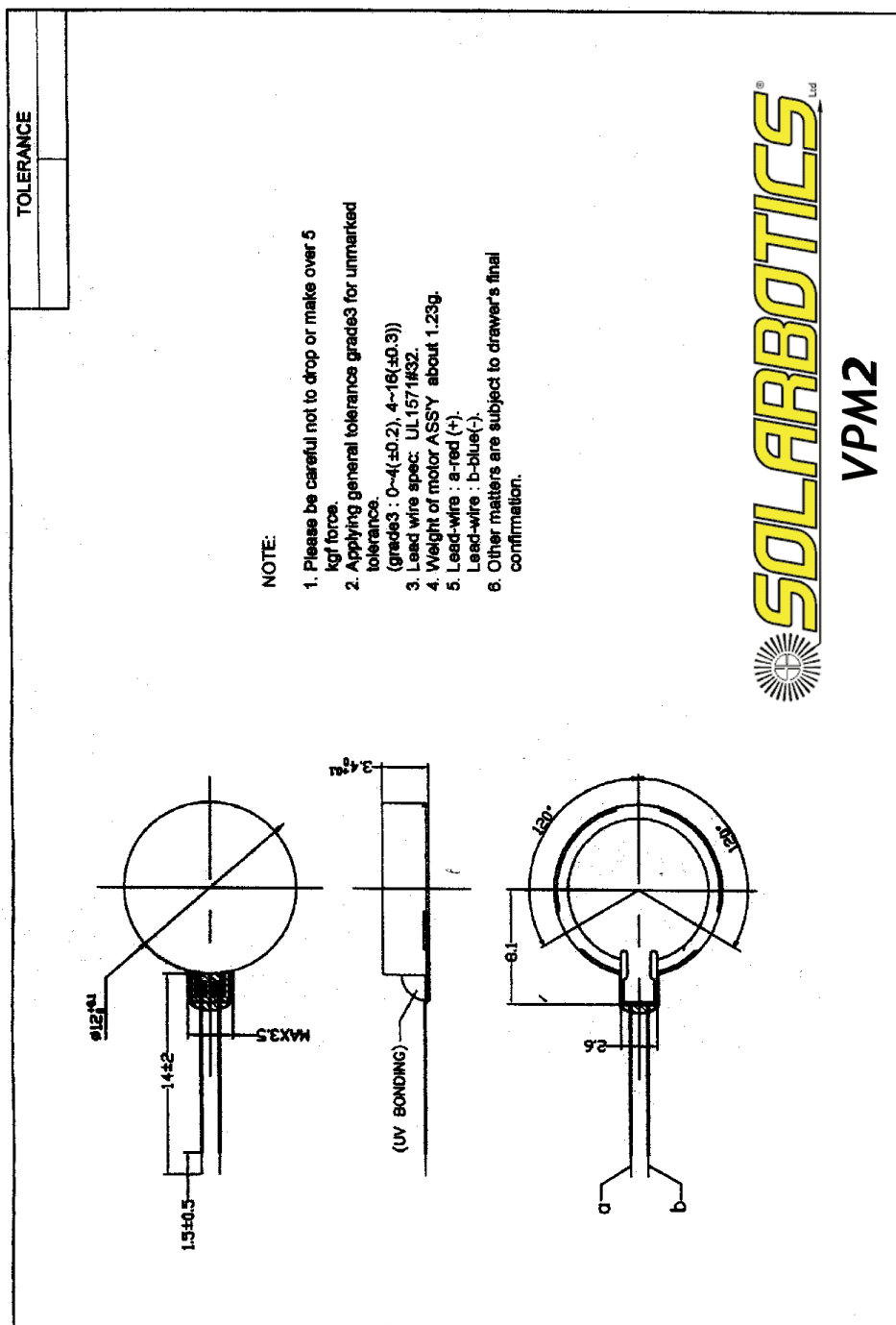



Figura 8.11: dimensiones actuador - Cortesía de Solarbotics

VPM2

 **SOLARBOTICS**[®] Ltd

4. MECHANICAL CHARACTERISTICS

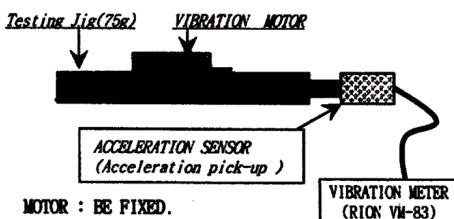
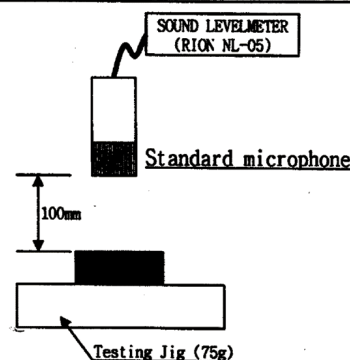
NO	ITEM	UNIT	SPEC	CONDITION
4-1	VIBRATION STRENGTH	G	(1.0)	 <p> Testing Jig(75g) VIBRATION MOTOR ACCELERATION SENSOR <i>(Acceleration pick-up)</i> VIBRATION METER <i>(RION VM-83)</i> </p> <p> MOTOR : BE FIXED . STANDARD VOLTAGE : DC 3.0V . STIPULATION AT ROTATING SPEED . </p>
4-2	MECHANICAL NOISE	dB	50 MAX	 <p> SOUND LEVELMETER <i>(RION NL-05)</i> Standard microphone 100mm Testing Jig (75g) </p> <p> MOTOR : BE FIXED . STANDARD VOLTAGE : DC 3.0 V BACK GROUND NOISE 25dB MAX.-A SCALE MICRO PHONE SHOULD BE VERTICAL. </p>
4-3	SHAFT PULL STRENGTH	gf	500 MIN	DEMOLITION TEST BY PUSH-PULL GAUGE.
4-4	BRACKET DEFLECTION STRENGTH	gf	500MIN	DEMOLITION TEST BY PUSH-PULL GAUGE.

Figura 8.12: Características mecánicas - Cortesía de Solarbotics

8. ANEXOS

8.5. Amplificador operacional etapa de potencia

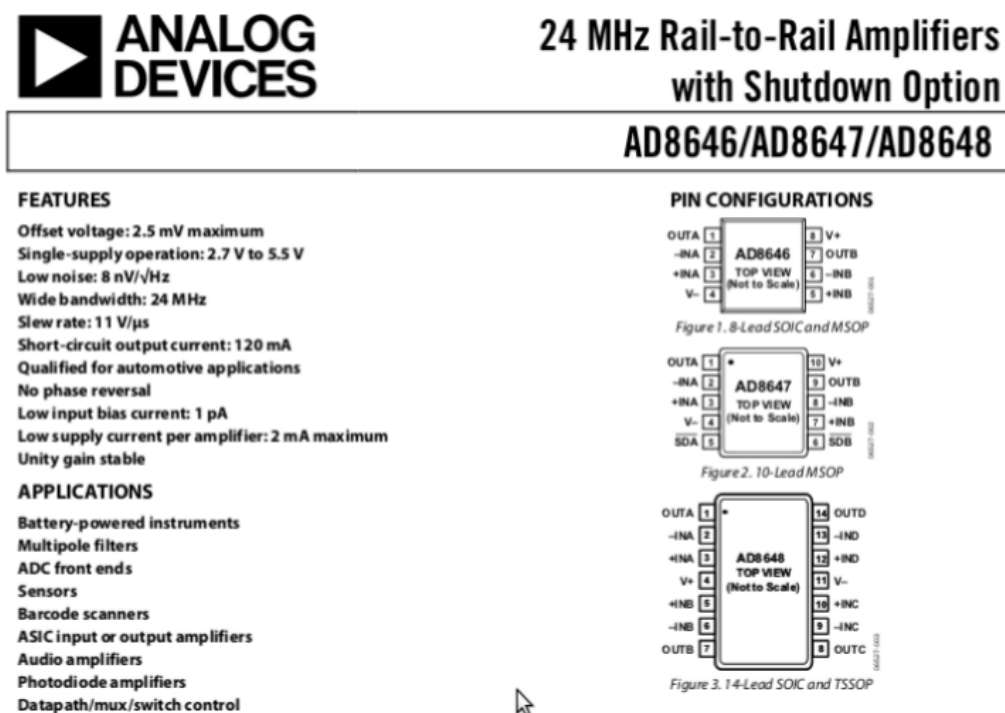


Figura 8.13: Amplificador AD8646ARZ - Cortesía Analog Devices

Referencias

- [1] Kelson R. T. Aires, Andre M. Santana, and Adelardo A. D. Medeiros. **Optical flow using color information: preliminary results.** In *Proceedings of the 2008 ACM symposium on Applied computing, SAC '08*, pages 1607–1611, New York, NY, USA, 2008. ACM. 9
- [2] Frank A. Geldard and Carl E. Sherrick. **The Cutaneous Rabbit”: A Perceptual Illusion.** *Science*, 178(4057):178–179, 1972. 10
- [3] Barrientos A. Jacobs D. M. Travieso D. Díaz, A. **Vibrotactile flow and the detection of step-on-places with a sensory substitution device.** *Studies in Perception and Action XI*, pages 8–12, 2011. 10, 14
- [4] Enzo Scilingo, Nicola Sgambelluri, and Antonio Bicchi. **The Role of Tactile Flow in Processing Dynamic Haptic Stimuli.** In Antonio Bicchi, Martin Buss, Marc Ernst, and Angelika Peer, editors, *The Sense of Touch and its Rendering*, 45 of *Springer Tracts in Advanced Robotics*, pages 39–60. Springer Berlin Heidelberg, 2008. 10.1007/978-3-540-79035-8 4. 11
- [5] C. Capelle, C. Trullemans, P. Arno, and C. VERAART. **A real-time experimental prototype for enhancement of vision rehabilitation using auditory substitution.** *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, 45(10):1279–1293, oct. 1998. 11
- [6] Martin Schurmann, Gina Caetano, Yevhen Hlushchuk, Veikko Jousmaki, and Riitta Hari. **Touch activates human auditory cortex.** *NeuroImage*, 30(4):1325–1331, 2006. 12
- [7] Sheridan Thomas B Massimino Michael J. **Sensory substitution for force feedback in teleoperation.** *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 2(4):344–352, oct. 1993. 12
- [8] Michael F. ZaeH Bernd Petzold. **A Study on Visual, Auditory, and Haptic Feedback for Assembly Tasks.** *Presence*, 13(1):16–21, February 2004. 12
- [9] R. Liu and Y.-X. Wang. **Auditory Feedback and Sensory Substitution During Teleoperated Navigation.** *Mechatronics, IEEE/ASME Transactions on*, PP(99):1–7, 2011. 12
- [10] Cristy Ho, Hong Z. Tan, and Charles Spence. **Using spatial vibrotactile cues to direct visual attention in driving scenes.** *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8(6):397–412, 2005. 12
- [11] Paul Bach y Rita and Stephen W. Kercel. **Sensory substitution and the human-machine interface.** *Trends in Cognitive Sciences*, 7(12):541–546, 2003. 13
- [12] C. Poirier, O. Collignon, C. Scheiber, L. Renier, A. Vanlierde, D. Tranduy, C. VERAART, and A.G. De Volder. **Auditory motion perception activates visual motion areas in early blind subjects.** *NeuroImage*, 31(1):279–285, 2006. 13
- [13] Eliana Sampaio, Stéphane Maris, and Paul Bach y Rita. **Brain plasticity: visual acuity of blind persons via the tongue.** *Brain Research*, 908(2):204–207, 2001. 13, 14
- [14] C. Capelle, C. Trullemans, P. Arno, and C. VERAART. **A real-time experimental prototype for enhancement of vision rehabilitation using auditory substitution.** *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, 45(10):1279–1293, oct. 1998. 13
- [15] Hans-Christian Jetter Harald Reiterer Michael Zollner, Stephan Huber. **NAVI – A Proof-of-Concept of a Mobile Navigational Aid for Visually Impaired Based on the Microsoft Kinect.** *Journal of Sth*, 2011. 14
- [16] Chang-Gul Kim and Byung-Seop Song. **Design of a wearable walking-guide system for the blind.** In *Proceedings of the 1st international convention on Rehabilitation engineering & assistive technology: in conjunction with 1st Tan Tock Seng Hospital Neurorehabilitation Meeting, i-CREAtE '07*, pages 118–122, New York, NY, USA, 2007. ACM. 16
- [17] José Manuel Reales Avilés. **El enfoque neogibsoniano como marco conceptual y metodológico para el diseño de programas de entrenamiento deportivo.** *Revista de Psicología General y aplicada*, pages 173–183, 1997. 19
- [18] David Jacobs Jorge Ibáñez-Guón, David Travieso. **Percepción:¿ Proceso directo o mediado?** *Revista de Psicología del Deporte ISSN:1988-5636*, pages 667–688, 2011. 20

Declaración

Madrid